GIÁO TRÌNH

VẬT LÝ THIÊN VĂN

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

NGUYỄN ĐÌNH NOÃN *(Chủ biên)*
NGUYỄN ĐÌNH HUÂN – PHAN VĂN ĐỒNG – NGUYỄN QUỲNH LAN

GIÁO TRÌNH
VẬT LÝ THIÊN VĂN

(Tái bản lần thứ nhất)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC VIỆT NAM

LỜI NÓI ĐẦU

Môn Thiên văn được giảng dạy ở các trường Đại học Sư phạm. Cuốn "Giáo trình thiên văn" của tác giả Phạm Viết Trinh và Nguyễn Đình Noãn đã được Hội đồng thẩm định sách của Bộ Giáo dục và Đào tạo giới thiệu làm sách dùng chung cho các trường Đại học Sư phạm. Tuy nhiên, sách được biên soạn vào thập kỷ 70 của thế kỷ trước nên nhiều nội dung chưa được cập nhật với những thành tựu mới của Thiên văn học nhất là Thiên văn vật lý. Hơn nữa, theo chương trình mới, môn Thiên văn còn được đưa vào chương trình Cao đẳng Sư phạm và một số tiết trong chương trình trung học phổ thông như các định luật Kepler về chuyển động của các hành tinh, cấu tạo và chuyển động của Hệ Mặt Trời, các sao và sự tiến hoá của các sao, Ngân hà và các Thiên hà, thuyết Big Bang... Vì vậy, Nhà xuất bản Giáo dục tổ chức biên soạn cuốn giáo trình Vật lý thiên văn mới này.

Trong quá trình biên soạn các tác giả đã cố gắng cập nhật các thành tựu và số liệu mới về Vật lý thiên văn cuối thế kỷ XX và đầu thế kỷ XXI, đồng thời bám sát yêu cầu đổi mới việc học tập và giảng dạy ở trường Sư phạm. Trong quá trình biên soạn không thể tránh khỏi thiếu sót. Kính mong đồng nghiệp và độc giả góp ý kiến. Mọi ý kiến đóng góp xin gửi về Công ty Cổ phần Sách Đại học – Dạy nghề, 25 Hàn Thuyên, Hà Nội.

Xin chân thành cảm ơn.

CÁC TÁC GIẢ

PHẦN MỞ ĐẦU

I– ĐỐI TƯỢNG VÀ NỘI DUNG

Thiên văn học là một ngành khoa học ra đời sớm nhất trong lịch sử nhân loại, cách đây khoảng hơn 4 ngàn năm. Do nhu cầu dự báo nước lũ sông Nin, các tu sĩ Ai Cập qua quan sát bầu trời đã thấy rằng, mỗi khi sao Thiên Lang xuất hiện buổi sáng thì chỉ vài tháng sau là có lũ lớn... Do đó, Các Mác đã chỉ ra rằng: "Sự cần thiết phải tính chu kỳ nước sông Nin lên xuống mà ngành thiên văn đã ra đời và các tu sĩ Ai Cập đã trở thành những người chỉ đạo canh tác". Ở Á Đông, cách đây trên 4500 năm, người ta đã quan sát thiên văn để đặt ra âm lịch có chu kỳ 60 năm. Hiện nay, lịch này vẫn được dùng và đang ở chu kỳ thứ 77...

Thiên văn học sử dụng công cụ Toán học và các thành tựu của các ngành khoa học tự nhiên, đặc biệt là vật lý học để nghiên cứu sự chuyển động, bản chất vật lý, thành phần hoá học, quá trình phát sinh, phát triển của các thiên thể và các hệ thiên thể như Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh (kể cả Trái Đất), các vệ tinh, các sao, các thiên hà và vũ trụ nói chung.

II– PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trước khi Galileo dùng kính thiên văn (1609), các nhà thiên văn chỉ quan sát bằng mắt để mô tả và đo cung dịch chuyển của các thiên thể trên bầu trời nhằm nghiên cứu sự chuyển động của chúng. Trong các thế kỷ XVII, XVIII và XIX, nhờ sự phát triển của Vật lý học, các phương pháp quan trắc đã đo được năng lượng bức xạ của các thiên thể, nhờ phương pháp quang phổ mà biết được cấu tạo hoá học và nhiệt độ của các thiên thể. Năm 1868 người ta phát hiện các vạch quang phổ của một nguyên tố quan trọng trong quang phổ Mặt Trời mà chưa hề thấy nguyên tố này trên Trái Đất. Đó là hêli (theo tiếng latinh, helio là Mặt Trời), và mãi đến năm 1897 mới tìm thấy hêli trên Trái Đất.

Nhờ định luật vạn vật hấp dẫn của I. Newton và toán học, ngành cơ học thiên thể đã phát triển và đã thu được các thành tựu kỳ diệu như tìm ra Hải Vương tinh. Vị trí của Hải Vương tinh được xác định

bằng tính toán lý thuyết, đó là một hành tinh không thể quan sát bằng mắt thường mà chỉ nhìn thấy nó qua kính thiên văn.

Vào giữa thế kỷ XX, kính thiên văn vô tuyến ra đời, cho phép ta quan sát các thiên thể mà không phụ thuộc vào thời tiết. Trong các thập kỷ cuối của thế kỷ XX, các trạm vũ trụ bay quanh Trái Đất có người điều khiển, kính thiên văn vũ trụ Hubble đã phát hiện được nhiều đối tượng thiên văn ở rất xa và rất nhỏ mà ở trên Trái Đất không thể quan sát được. Việc cho người đổ bộ lên Mặt Trăng, phóng các trạm tự động lên các hành tinh... đã làm cho ngành khoa học thiên văn có thêm khả năng nghiên cứu mới có tính chất thực nghiệm.

III– Ý NGHĨA VÀ VAI TRÒ CỦA THIÊN VĂN HỌC

Ở nước ta cũng như các nền văn minh cổ đại trên thế giới, thiên văn học đã ra đời rất sớm. Trên trống đồng Ngọc Lũ đã có các hình tượng thiên văn.

Thiên văn đo lường nghiên cứu các phương pháp xác định phương hướng, xác định thời gian và các toạ độ địa lý để xây dựng mạng lưới trắc địa nhà nước và lập bản đồ phục vụ cho nhiều ngành kinh tế và quốc phòng.

Trước những năm 60 của thế kỷ XX, việc xác định thời gian chính xác để có các chuẩn tần số chính xác cũng cần đến các phép đo thiên văn. Cơ sở của hệ thống tính thời gian dài và việc làm lịch hàng năm cũng dựa vào chu kỳ được nghiên cứu trong thiên văn học. Việc dự báo con nước thuỷ triều, xác định gia tốc trọng trường ở các điểm khác nhau trên mặt đất phục vụ cho việc nghiên cứu cấu tạo bên trong lòng đất để thăm dò khoáng sản, dầu khí... đều cần đến tri thức thiên văn. Thiên văn hàng hải, thiên văn hàng không phục vụ cho việc đi lại trên biển và trên bầu trời. Việc sử dụng các thiên thể nhân tạo (vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ, trạm tự động...) phục vụ cho kinh tế và quốc phòng, đều phải sử dụng các tư liệu nghiên cứu thiên văn.

Thiên văn vật lý giúp con người hiểu biết các dạng tồn tại của vật chất trong vũ trụ. Có những trạng thái vật chất trong vũ trụ mà không thể thực hiện được trong phòng thí nghiệm trên mặt đất. Các kết quả nghiên cứu thiên văn vật lý thúc đẩy các ngành khoa học khác phát triển như cơ học, vật lý, hoá học, sinh học... Việc nghiên cứu phản ứng hạt nhân trong lòng Mặt Trời và các sao, việc nghiên

cứu sự tiến hoá của các sao đã gợi mở nhiều vấn đề của vật lý hạt nhân và hạt cơ bản...

Các kiến thức và kết quả nghiên cứu Thiên văn còn có ý nghĩa to lớn trong việc xây dựng thế giới quan duy vật biện chứng, phê phán các quan niệm duy tâm thần bí và loại trừ mê tín dị đoan. Đặc biệt ngày nay, khi khoa học công nghệ vũ trụ phát triển, thiên văn học càng có vai trò quan trọng. Chính vì có tác dụng nhiều mặt đến cuộc sống nên tuy ra đời sớm nhưng thiên văn học ngày nay vẫn là một mũi nhọn của khoa học hiện đại. Ông cha ta cũng sớm nhận thức: thiên địa tinh thông. Các triều đại phong kiến Việt Nam đều có cơ quan khảo cứu thiên văn và lịch pháp: Đời Lý có Lầu Chính dương để xem giờ, đời Trần có Thái Sử cục, đời Lê có Thái Sử viện, đời Lê Trung Hưng có Tư Thiên giám, đời Nguyễn có Khâm Thiên giám.

Trước cách mạng tháng 8 năm 1945, nước ta có đài thiên văn Phủ Liễn (Kiến An, Hải Phòng). Sau cách mạng tháng 8, do tinh giản chương trình nên ở các trường trung học môn thiên văn không được giảng dạy một cách liên tục và rộng khắp. Ngày 22 tháng 4 năm 1993, Hội Thiên văn Vũ trụ Việt Nam được thành lập, với sự giúp đỡ của Hội Thiên văn Quốc tế, các trường đại học và các tổ chức Thiên văn trên thế giới, việc giảng dạy Thiên văn được phát triển. Các trường đại học sư phạm đều có cán bộ giảng dạy thiên văn. Nhiều trang thiết bị thiên văn được lắp đặt: kính thiên văn, nhà chiếu hình vũ trụ, các thiết bị nghe nhìn phục vụ cho công tác giảng dạy và học tập thiên văn. Chương trình thiên văn cũng được đưa vào các trường cao đẳng sư phạm. Trong chương trình vật lý ở trường trung học phổ thông cũng có một số tiết về vật lý thiên văn.

Ngày 19/04/2008 nước ta đã phóng vệ tinh nhân tạo VINASAT–1. Hy vọng rằng, thiên văn học sẽ có vị trí xứng đáng để phát huy tác dụng trong công cuộc công nghiệp hoá, hiện đại hoá đất nước, để cho Việt Nam có thể hoà nhập với trình độ phát triển về khoa học của các nước trong khu vực và trên thế giới.

PHẦN THỨ NHẤT

HỆ MẶT TRỜI

Chương I

ĐỘNG LỰC HỌC HỆ MẶT TRỜI

I– HỆ MẶT TRỜI TRONG VŨ TRỤ

Trong vũ trụ, Mặt Trời chỉ là một ngôi sao phát sáng cỡ trung bình, các sao khác có khối lượng cỡ từ 0,01 đến 100 lần khối lượng Mặt Trời. Mặt Trời là một trong số các sao tạo nên thiên hà của chúng ta. Quanh Mặt Trời có các hành tinh và quanh các hành tinh có các vệ tinh chuyển động. Hành tinh, vệ tinh là những thiên thể không tự phát sáng. Trái Đất là một hành tinh của Mặt Trời. Mặt Trăng là một vệ tinh của Trái Đất.

Cách đây hơn 2000 năm, các nhà Thiên văn đã cho rằng Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh tạo nên một hệ riêng, gọi là Hệ Mặt Trời và đã rút ra các đặc điểm chuyển động nhìn thấy của chúng như sau:

– Mặt Trời, Mặt Trăng dịch chuyển đối với các sao theo chiều từ tây sang đông (chiều thuận).

– Các hành tinh cũng chuyển động theo chiều thuận, nhưng cũng có khi chuyển động ngược lại, quỹ đạo của nó trên bầu trời là một đường nút.

– Thuỷ tinh và Kim tinh chỉ dao động quanh Mặt Trời với biên độ cực đại tương ứng 28° và 48°.

– Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh chuyển dịch gần như trong cùng một mặt phẳng.

Hình I.1. Quỹ đạo đường nút của hành tinh

II– CÁC MÔ HÌNH VỀ HỆ MẶT TRỜI

1. Thiên văn thời cổ đại – Mô hình địa tâm

Vào khoảng thế kỷ thứ II, các nhà Thiên văn mới chỉ quan sát được 5 hành tinh: Thuỷ tinh (Mercury), Kim tinh (Vernus), Hoả tinh (Mars), Mộc tinh (Jupiter) và Thổ tinh (Saturn). Năm 125 (sau CN), C. Ptolemy,

nhà Thiên văn người Hy Lạp đã đưa ra phác thảo một mô hình vũ trụ địa tâm trên cơ sở các quan sát thiên văn thời bấy giờ như sau:

– Trái Đất là trung tâm của vũ trụ.

– Vũ trụ bị giới hạn bởi một mặt cầu chứa các ngôi sao cố định.

– Mặt Trời, Mặt Trăng chuyển động trên các quỹ đạo tròn với vận tốc không đổi, nhưng với chu kỳ lớn hơn chu kỳ nhật động.

– Các hành tinh chuyển động với tốc độ không đổi trên những vòng tròn nhỏ (vòng ngoại luân). Tâm của vòng ngoại luân chuyển động trên các quỹ đạo tròn (vòng chính đạo) xung quanh Trái Đất.

– Tâm vòng ngoại luân của các hành tinh trong (Kim tinh và Thuỷ tinh) nằm trên đường nối tâm Mặt Trời và Trái Đất.

– Các thiên thể quay xung quanh Trái Đất, theo thứ tự xa dần Trái Đất là: Mặt Trăng, Thuỷ tinh, Kim tinh, Mặt Trời, Hoả tinh, Mộc tinh và Thổ tinh.

Hình I.2. Mô hình địa tâm Ptolemy

Từ trong ra ngoài: Trái Đất, Mặt Trăng, Thuỷ tinh, Kim tinh, Mặt Trời, Hoả tinh, Mộc tinh, Thổ tinh và ngoài cùng là mặt cầu chứa các sao.

Hình I.3. Ptolemy

Mô hình địa tâm Ptolemy đã giải thích được các quan sát thiên văn với độ chính xác thời bấy giờ. Khi độ chính xác trong các phương pháp và phương tiện quan trắc thiên văn tăng lên thì Mô hình địa tâm càng bổ sung, càng phức tạp và không thể giải thích nổi, và tình trạng bế tắc đó phải kéo dài trong vòng hơn 1.300 năm. Thiên văn học lúc đó hầu như dẫm chân tại chỗ cho đến thế kỷ XVI.

2. Thiên văn thời trung cổ – Mô hình nhật tâm

Quan sát và phân tích số liệu quan trắc về chuyển động của các thiên thể, năm 1543, vào năm cuối cùng của cuộc đời ông, Nicholas Copernicus (1473 – 1543), nhà thiên văn học người Ba Lan đã đưa ra mô hình nhật tâm như sau:

– Mặt Trời nằm yên ở trung tâm vũ trụ.

– Các hành tinh chuyển động xung quanh Mặt Trời trên các quỹ đạo tròn và cùng chiều.

– Trái Đất quay xung quanh trục của nó trong khi chuyển động quanh Mặt Trời.

– Mặt Trăng chuyển động trên một quỹ đạo tròn quanh Trái Đất.

– Các hành tinh, kể theo thứ tự tăng dần từ Mặt Trời là: Thuỷ tinh, Kim tinh, Trái Đất, Hoả tinh, Mộc tinh và Thổ tinh.

– Các sao ở rất xa và cố định trên thiên cầu.

Hình I.4. Mô hình nhật tâm: ở giữa là Mặt Trời, các hành tinh vòng ngoài: Thuỷ tinh, Kim tinh, Trái Đất có Mặt Trăng quay xung quanh, Hoả tinh, Mộc tinh và Thổ tinh.

Mô hình nhật tâm đã giải thích được chuyển động nhìn thấy của các thiên thể, tính toán chu kỳ chuyển động của các hành tinh và khoảng cách của chúng đến Mặt Trời. Mô hình nhật tâm đã mở đường cho sự tiến triển của khoa học nhưng lại bị các giáo lý của nhà thờ chống đối vì nó đối lập với các tiên đề của kinh thánh. Các nhà khoa học J. Bruno, Kepler, Galileo đã ủng hộ quan điểm đúng đắn của mô hình nhật tâm Copernicus.

Cuối thế kỷ XVI, nhà triết học chân chính Bruno (Italia) cho rằng trong vũ trụ, mỗi sao là một Mặt Trời, xung quanh các sao cũng có các hành tinh và trong Vũ trụ có thể có sự sống ở các thiên thể khác. Bruno đã bị kết án tội phản nghịch và đã bị giai cấp thống trị thiêu sống vào năm 1600 tại Rôma.

Hình I.5. *Nicholas Copernicus (1473 – 1543)*

Không lâu sau khi Copernicus qua đời, T. Brahe (1546 – 1601), nhà Thiên văn người Đan Mạch đã thực hiện một loạt các quan sát về Hoả tinh và các hành tinh khác trong vòng 20 năm. Năm 1597, ông chuyển đến làm việc tại Praha trong 2 năm cuối của cuộc đời ông và đã làm việc cùng người trợ lý đắc lực, người học trò tài ba J. Kepler.

III– QUY LUẬT CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC HÀNH TINH TRONG HỆ MẶT TRỜI

1. Nguồn gốc của Thiên văn hiện đại – Các định luật Kepler

Dựa trên các số liệu quan trắc của T. Brahe và các số liệu của chính mình, J. Kepler (1571 – 1630), nhà Toán học người Đức đã phát minh ra 3 định luật nổi tiếng về chuyển động của các hành tinh:

– *Định luật 1, (1609).* Các hành tinh chuyển động trên trên một quỹ đạo elip, Mặt Trời là một tiêu điểm.

– *Định luật 2, (1609).* Bán kính vectơ của mỗi hành tinh quét những diện tích bằng nhau trong những khoảng thời gian bất kỳ như nhau.

Hình I.6. *Kepler (1571–1630)*

– *Định luật 3, (1618).* Bình phương chu kỳ chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời tỷ lệ với lập phương bán trục lớn của quỹ đạo elip.

Hình I.7. $t_2 - t_1 = t_4 - t_3$ *thì* $S_1 = S_2$

Ba định luật Kepler được biểu diễn dưới dạng toán học như sau:

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi} \tag{I.1}$$

p là thông số của elip, φ là góc cận điểm, e là tâm sai elip.

$$r^2 \frac{d\varphi}{dt} = C \tag{I.2}$$

C là hằng số

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = h \tag{I.3}$$

h là hằng số, T là chu kỳ, a là bán trục lớn của elip.

2. G. Galileo, ông tổ của khoa học thực nghiệm

Thế kỷ thứ XVII là thế kỷ của sự khám phá, thực nghiệm và sáng tạo. Điều đó đã ảnh hưởng trực tiếp đến thiên văn, chính là việc sáng chế ra kính thiên văn đầu tiên. G. Galileo (1564 – 1642), nhà thiên văn người Italia đã chế tạo ra kính thiên văn để quan sát bầu trời. Ông đã khám phá ra 4 vệ tinh của Mộc tinh, phát hiện ra các pha tròn và khuyết của Kim tinh, quan sát được các dãy núi và các miệng núi lửa do va chạm trên Mặt Trăng, quan sát các vết đen và tính toán chu kỳ quay của Mặt Trời. Ông cho rằng dải Ngân hà có vô số sao... và phát hiện nhiều hiện tượng thiên văn khác. Cuốn sách

Hình I.8. G. Galileo (1546 – 1642)

mang tên "Đối thoại về hai hệ thống thế giới" ủng hộ Hệ nhật tâm, phản đối các quan điểm sai trái của nhà thờ. Cuốn sách của ông bị nhà thờ ngăn cấm. Ông đã phải ra hầu toà, bị quản thúc tại gia cho đến khi ông qua đời. Galileo được xem là ông tổ của khoa học thực nghiệm. Từ thí nghiệm về chuyển động rơi tự do của ông, ông đã dẫn tới khái niệm quán tính. Ông cho rằng chuyển động của các vật trên Trái Đất và chuyển động của các thiên thể có bản chất giống nhau.

3. Isaac Newton, nhà bác học thiên tài

Isaac Newton sinh năm 1642 tại Anh, đúng năm mà Galileo qua đời và đã sớm trở thành nhà bác học lỗi lạc nhất thời kỳ đó.

Năm 1687, cuốn sách của ông: Những nguyên lý toán học của triết học tự nhiên (*Matematical Principles of Natural Phylosophy)* ra đời, trong đó ông đã phát minh định luật vạn vật hấp dẫn:

Các vật trong vũ trụ đều hấp dẫn nhau. Lực tương tác giữa hai vật tỷ lệ thuận với tích khối lượng của chúng và tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách giữa chúng

$$\vec{F} = G\frac{m_1 m_2}{r^3}\vec{r} \qquad (I.4)$$

trong đó, $G = 6{,}668.10^{-11}$ Nm^2/kg^2 là hằng số hấp dẫn, m_1 và m_2 là khối lượng, r là khoảng cách giữa hai khối lượng đó.

Hình I.9. Isaac Newton (1642 – 1727)

Newton đã chứng minh lực hướng tâm buộc các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời và lực buộc Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất cũng có bản chất như trọng lực.

Trong khi phát minh định luật vạn vật hấp dẫn, Newton đã chứng minh lực hướng tâm buộc các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời, Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất cũng có bản chất là lực hấp dẫn.

Từ định luật hấp dẫn, Newton đã suy ra được 3 định luật Kepler và đã chính xác hoá định luật thứ 1 và định luật 3.

Về định luật 1 Kepler, bằng lý thuyết ta đã rút ra rằng quỹ đạo của các hành tinh không chỉ là một đường elip, mà là một đường cônic (elip, tròn, parabol, hypebol hay là đường thẳng).

Hình I.10. Các tiết diện Conic (bên phải)

Hình I.11. Các đường Conic (bên trái) 1. Elip; 2. Đường tròn; 3. Parabol; 4. Hypebol; 5. Đường thẳng.

Về định luật 3 Kepler, bằng lý thuyết ta đã rút ra được biểu thức toán học tổng quát hơn:

$$T^2(m_1 + m_2) = 4\pi^2 \frac{a^3}{G} \qquad (I.5)$$

Ở đây m_1 là khối lượng Mặt Trời, m_2 là khối lượng hành tinh, T là chu kỳ chuyển động, a là bán trục lớn của quỹ đạo hành tinh, G là hằng số hấp dẫn.

Như vậy, dưới tác dụng của lực hấp dẫn, các hành tinh chuyển động theo các định luật Kepler. Ngược lại, từ các định luật Kepler, ta cũng rút ra được biểu thức của định luật vạn vật hấp dẫn.

IV– XÁC ĐỊNH KHOẢNG CÁCH, ĐỘ LỚN VÀ KHỐI LƯỢNG CỦA CÁC THIÊN THỂ TRONG HỆ MẶT TRỜI

1. Xác định khoảng cách

Khoảng cách từ Trái Đất đến các hành tinh trong Hệ Mặt Trời được thực hiện qua phép đo thị sai ngày của hành tinh. Thị sai ngày của thiên thể là góc nhìn bán kính Trái Đất từ thiên thể đó.

Trên hình I.12, R là bán kính Trái Đất, Δ là khoảng cách từ tâm Trái Đất đến hành tinh. S_1, S_2 là các vị trí của thiên thể trên quỹ đạo, S_1 là vị trí khi thiên thể nằm trên đường chân trời. OS_2A là góc thị sai p của hành tinh. OS_1A là góc thị sai chân trời p_o của hành tinh.

Hình I.12. Thị sai ngày

Ta có:

$$\frac{R}{\Delta} = \frac{\sin p}{\sin Z} \Rightarrow \frac{R}{\Delta} = \sin P_o \Rightarrow \sin p = \sin p_o \sin Z \Rightarrow p = p_o \sin Z \qquad (I.6)$$

Biết thị sai chân trời p_o của một thiên thể, ta tính được khoảng cách từ thiên thể đến tâm Trái Đất $\Delta = \frac{R}{\sin p_0}$. Như vậy, việc xác định khoảng cách đến các thiên thể thực chất là xác định thị sai của chúng. Việc xác định thị sai chân trời dẫn đến việc xác định khoảng cách thiên đỉnh của thiên thể đó.

Trên hình I.13, A_1 và A_2 là hai vị trí của người quan sát tương ứng với vĩ độ địa lý là φ_1 và φ_2 trên cùng một kinh tuyến. XĐ là xích đạo Trái Đất. Khi thiên thể S đi qua kinh tuyến trời thì các điểm A_1, S, A_2, O nằm trong mặt phẳng thẳng đứng.

Hình I.13. Xác định thị sai chân trời

Xét tứ giác A_1SA_2O, ta có:

$$p_1 + p_2 + 180^\circ - Z_1 + 180^\circ - Z_2 + \varphi_2 - \varphi_1 = 360^\circ$$

Từ đó: $p_1 + p_2 = Z_1 + Z_2 - \varphi_2 + \varphi_1$

hay: $p_1 = p_o \sin Z_1$, $p_2 = p_o \sin Z_2$

Do đó: $p_1 + p_2 = p_o(\sin Z_1 + \sin Z_2)$

Và
$$p_o = \frac{Z_1 + Z_2 - \varphi_2 + \varphi_1}{\sin Z_1 + \sin Z_2} \qquad (I.7)$$

Việc xác định thị sai chân trời của một thiên thể được quy về xác định khoảng cách đỉnh của thiên thể đó. Phương pháp xác định thị sai chân trời qua phép đo khoảng cách đỉnh của thiên thể tại hai điểm cùng kinh tuyến và có vị độ địa lý khác nhau chỉ áp dụng cho các thiên thể gần. Ví dụ đối với Mặt Trăng, bằng phương pháp này, ta đo được thị sai của Mặt Trăng là p_o = 57'67" + 0"06, tương ứng với khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng là:

$$\Delta = 384\ 400\text{km}$$

Đối với các thiên thể ở xa như Mặt Trời, phương pháp này không chính xác, vì thị sai của chúng quá bé. Vào thế kỷ XVII, người ta đã xác định gián tiếp thị sai Mặt Trời qua thị sai Hoả tinh khi hành tinh này giao hội với Trái Đất.

Hình I.14. *Xác định thị sai của Mặt Trời*

Trên hình I.14, M là Mặt Trời, H là Hoả tinh, Đ là Trái Đất. Gọi thị sai chân trời của Mặt Trời là p_o, của Hoả tinh là p_H, khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời là D, khoảng cách Mặt Trời – Hoả tinh là d. Ta có:

$$R = D\sin p_o,\ R = (d - D)\sin p_M,\ D\sin p_o = (d - D)\sin p_M,$$

$$\sin p_o = \left(\frac{d}{D} - 1\right)\sin p_M, \qquad p_o = \left(\frac{d}{D} - 1\right)p_M. \qquad (I.8)$$

Tỷ số d/D được xác định theo định luật 3 Kepler, còn thị sai chân trời của Hoả tinh được xác định từ quan sát, theo phương pháp cùng kinh

tuyến. Do đó, thị sai chân trời của Mặt Trời là p_o = 8"794, và khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời: a = một đơn vị thiên văn = 149,6.10^6km.

Đối với những thiên thể có đĩa bề mặt nhìn thấy lớn như Mặt Trăng, Mặt Trời thì ta có thể đo bán kính góc ρ của nó. Biết được khoảng cách từ thiên thể đến Trái Đất, ta xác định được bán kính của thiên thể đó.

***Hình I.15.** Xác định độ lớn thiên thể*

Trên hình I.15, R là bán kính Trái Đất, r là bán kính của thiên thể, p là thị sai chân trời, ρ là bán kính góc của thiên thể đó. Ta có:

$$\Delta = \frac{R}{\sin p}, \Delta = \frac{r}{\sin \rho}, r = \frac{\sin \rho}{\sin p} R \Rightarrow r = \frac{\rho}{p} R, \qquad (I.9)$$

Đặt bán kính Trái Đất bằng đơn vị, biết bán kính góc ρ, ta xác định bán kính r của thiên thể.

Đối với Mặt Trăng: ρ_T =15'5, p_T = 57' và r_T = 0,27R = 3476km.

Đối với Mặt Trời: ρ_M =16'5, p_M = 8"8 và r_M = 109R = 696000km.

Ngày nay, chúng ta có khả năng đo khoảng cách đến các thiên thể bằng phương pháp vô tuyến định vị. Khoảng cách Δ từ thiên thể đến Trái Đất được tính theo công thức: $\Delta = \frac{ct}{2}$, trong đó c là vận tốc sóng điện từ, t là khoảng thời gian tính từ lúc phát xung sóng cho đến khi nhận được sóng phản hồi.

2. Xác định khối lượng

Ứng dụng định luật vạn vật hấp dẫn, ta có thể xác định được khối lượng của Trái Đất: m = 5,98.10^{24}kg, và do đó, khối lượng riêng trung bình của Trái Đất là: D = m/V = 5,5kg/dm^3.

Ký hiệu khối lượng Mặt Trời là M, của hành tinh là m, của vệ tinh là m_1, chu kỳ chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời là T, chu kỳ

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRUNG TÂM HỌC LIỆU

chuyển động của vệ tinh quanh hành tinh là T_1, bán trục lớn quỹ đạo hành tinh là a, của vệ tinh là a_1. Theo định luật 3 Kepler, ta có:

$$\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(m+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}; \quad \frac{M+m}{m+m_1} = \frac{a^3T_1^2}{a_1^3T^2};$$

Vì m<< M, m<<m_1 nên ta có $\frac{M}{m} = \frac{a^3T_1^2}{a_1^3T^2}$ (I.10)

Vì chu kỳ và bán trục lớn là những đại lượng có thể xác định được từ quan sát nên ta có thể xác định được tỷ số khối lượng M/m.

Vì Mặt Trăng có khối lượng đáng kể so với khối lượng Trái Đất, nên ta không thể bỏ qua m_1 so với m. Thực tế, cả hai vật thể này đều chuyển động quanh khối tâm chung G.

Hình I.16. Hệ Trái Đất – Mặt Trăng

Ta có: $mx = m_1(d - x)$

Bằng quan trắc, ta biết được ĐG = x = 4 635km; và ĐT = d = 384 400km

Do đó: $m = 81{,}5m_1$.

Biết T = 365,25 ngày,

T_1 =27,32 ngày,

a = 149 600 000km, a_1 = 384 400km. Đưa các giá trị này vào công thức:

$$\frac{T^2(M+m)}{T_1^2(m+m_1)} = \frac{a^3}{a_1^3}$$

ta được M = 330 000m = 330 000.6.10^{24}kg = 1,98.10^{30}kg.

Biết khối lượng Mặt Trời, ta có thể xác định dễ dàng khối lượng của các hành tinh trong Hệ Mặt Trời.

V– CHUYỂN ĐỘNG KHÔNG NHIỄU LOẠN. BÀI TOÁN HAI VẬT THỂ

1. Phương trình chuyển động của bài toán hai vật thể

Xét chuyển động của vật thể (P, m) trong trường lực hấp dẫn của vật thể (A, M). Trong các trường hợp cụ thể, đó là chuyển động của Trái Đất hoặc các hành tinh khác quanh Mặt Trời, là chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất hay của các vệ tinh quanh hành tinh, là

chuyển động của vệ tinh nhân tạo quanh Trái Đất, chuyển động của tàu vũ trụ, trạm không gian giữa các hành tinh... trong Hệ Mặt Trời.

Giả sử $O\xi\eta\varsigma$ là hệ toạ độ tuyệt đối, có gốc tại điểm O trong không gian. Ta xem (A, M) và (P, m) là những chất điểm. Trong hệ $O\xi\eta\varsigma$, P chịu một lực hấp dẫn là: $G\frac{Mm}{r^2}$, và phương trình chuyển động của P trong hệ này là:

$$m\frac{d^2\vec{\rho}}{dt^2} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \text{ hay } \frac{d^2\vec{\rho}}{dt^2} = -G\frac{M}{r^3}\vec{r}. \qquad (I.11)$$

Trong hệ $O\xi\eta\varsigma$, A chịu tác dụng một lực: $G\frac{Mm}{r^2}$, và phương trình chuyển động của A trong hệ này là:

$$M\frac{d^2\vec{a}}{dt^2} = -G\frac{Mm}{r^3}\vec{r} \text{ hay } \frac{d^2\vec{a}}{dt^2} = -G\frac{m}{r^3}\vec{r} \qquad (I.12)$$

Khảo sát chuyển động trong hệ tương đối có gốc tại A, với các trục Ax, Ay, Az song song với các trục của hệ $O\xi\eta\varsigma$. Trong hệ này, ta có:

$$\vec{r} = \vec{\rho} - \vec{a} \quad \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} - \frac{d^2\vec{a}}{dt^2} = -G\frac{M+m}{r^3}\vec{r} \qquad (I.13)$$

Gọi K = G(M + m) là thông số hấp dẫn của cặp chất điểm (A, M) và (P,m), thì chuyển động của chất điểm P đối với chất điểm A được xác định bởi phương trình:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}\vec{r} = 0 \qquad (I.14)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}x = 0 \qquad (I.15.a)$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}y = 0 \qquad (I.15.b)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}z = 0 \qquad (I.15.c)$$

Ở đây: $$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \qquad (I.16)$$

Hằng số hấp dẫn $G = 6{,}68.10^{-11}\ Nm^2/kg^2$.

Thông số hấp dẫn của Mặt Trời là $K = GM_o = 1325108 km^3/s^2$.

Thông số hấp dẫn của Trái Đất là $K = GM_đ = 398600 km^3/s^2$.

Thông số hấp dẫn của Mặt Trăng là $K = GM_t = 4900 km^3/s^2$.

Phương trình $\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}\vec{r} = 0$ tương đương với 3 phương trình vi phân hạng 2 dạng vô hướng hay tương đương hệ 6 phương trình vi phân hạng 1 dạng vô hướng:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x}, \quad \frac{d\dot{x}}{dt} + K\frac{m}{r^3}x = 0 \tag{I.17.a}$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y}, \quad \frac{d\dot{y}}{dt} + K\frac{m}{r^3}y = 0 \tag{I.17.b}$$

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z}, \quad \frac{d\dot{z}}{dt} + K\frac{m}{r^3}z = 0 \tag{I.17.c}$$

Nghiệm của hệ phương trình này sẽ chứa 6 hằng số tích phân. Nếu ta có 6 hằng số tích phân độc lập tuyến tính với nhau thì bài toán giải được ở dạng toàn phương. Trong cơ học thiên thể, bài toán này đã được giải bằng nhiều phương pháp khác nhau, và nghiệm của nó chứa 6 hằng số độc lập tuyến tính. Nghiệm đó đều được biểu diễn qua 3 định luật Kepler. 6 hằng số đó cho phép ta xác định vị trí của vật thể P ở thời điểm bất kỳ trên quỹ đạo. Quỹ đạo của các hành tinh, các vệ tinh trong Hệ Mặt Trời là những đường elip.

2. Giải hệ phương trình chuyển động

a) Tích phân diện tích. Định luật II Kepler

Chuyển động của P đối với A luôn xảy ra trong mặt phẳng đi qua A. Giả sử bán kính vectơ r và vận tốc v của P là những hàm của thời gian, và tại t_o thì $\vec{r} = \vec{r}_o, \vec{v} = \vec{v}_o$. Nhân hữu hướng 2 vế của phương trình chuyển động với $\vec{r}$, ta được:

$$\vec{r} \wedge \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = -K\frac{1}{r^3}(\vec{r} \wedge \vec{r}) \tag{I.18}$$

Vì rằng $\vec{r} \wedge \vec{r} = 0$ nên

$$\frac{d}{dt}\left[\vec{r} \wedge \frac{d\vec{r}}{dt}\right] = \frac{d\vec{r}}{dt} \wedge \frac{d\vec{r}}{dt} + \vec{r} \wedge \frac{d^2\vec{r}}{dt^2} \tag{I.19}$$

Do đó: $\frac{d}{dt}\left[\vec{r} \wedge \frac{d\vec{r}}{dt}\right] = 0$ hay $\frac{d}{dt}\left[\vec{r} \wedge \vec{v}\right] = 0$

Tích phân ta được

$$\vec{r} \wedge \vec{v} = \vec{C}. \tag{I.20}$$

$\vec{C}$ gọi là hằng số vectơ diện tích. Tại $t = t_o$ thì $\vec{r}_o \wedge \vec{v}_o = \vec{C}$.

Nhân vô hướng phương trình $\vec{r} \wedge \vec{v} = \vec{C}$ với $\vec{r}$

Ta có: $\vec{C}.\vec{r} = 0$ (I.21)

Xét trong hệ Axyz thì:

$$\vec{r} \wedge \vec{v} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x & y & z \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} = C_1\vec{i} + C_2\vec{j} + C_3\vec{k} \quad (I.22)$$

Do đó:
$$\begin{aligned} y\dot{z} - z\dot{y} &= C_1 \\ z\dot{x} - x\dot{z} &= C_2 \\ x\dot{y} - y\dot{x} &= C_3 \end{aligned} \quad (I.23)$$

Phương trình mặt phẳng chuyển động $\vec{C}.\vec{r} = 0$ trong hệ Axyz là:

$$C_1x + C_2y + C_3z = 0 \quad (I.24)$$

Trong mặt phẳng Axy thì $\vec{C} = C.\vec{k}$, và $z = 0, \dot{z} = 0$

Khi đó $x\dot{y} - y\dot{x} = C$ (I.25)

Trong toạ độ cực Axy, thì $x = r\cos\theta$, $y = r\sin\theta$ và ta có:

$$r^2\dot{\theta} = C \quad (I.26)$$

Tại t và t + Δt chất điểm dịch chuyển từ P đến P' và bán kính vectơ vẽ nên diện tích ΔS. Ta có $\Delta S = \frac{1}{2}r^2\dot{\theta}$. Khi $\Delta t \to 0$ thì $\frac{dS}{dt} = \frac{1}{2}r^2\frac{d\theta}{dt}$. $\frac{dS}{dt}$ gọi là vận tốc diện tích của P đối với A.

Tích phân phương trình $\frac{dS}{dt} = \frac{1}{2}r^2\frac{d\theta}{dt}$ theo thời gian từ t_o đến t_1, ta có:

$$S = \frac{1}{2}C(t_1 - t_o) \quad (I.27)$$

Đây chính là định luật 2 Kepler. Trong những khoảng thời gian bất kỳ như nhau, bán kính vectơ vẽ nên những diện tích bằng nhau.

Giả sử $\vec{v}$ có hai thành phần: thành phần tiếp tuyến V_r hướng theo AP, thành phần pháp tuyến v_n vuông góc với AP. φ là góc giữa bán kính vectơ r và vận tốc v, khi đó:

$$v_r = \dot{r}, v_n = r\dot{\theta} = v\sin\varphi.$$

Hình II.17

Do đó: $r^2\dot{\theta} = C$ trở thành

$$rv\sin\varphi = C = \text{const} \tag{I.28}$$

b) Tích phân năng lượng

Nhân vô hướng phương trình chuyển động $\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} + K\frac{m}{r^3}\vec{r} = 0$ với $2\dot{\vec{r}}$, ta có:

$$2\dot{\vec{r}}\ddot{\vec{r}} = -\frac{2K}{r^3}\vec{r}\dot{\vec{r}} \text{ hay } \frac{d}{dt}(\dot{\vec{r}})^2 = -\frac{K}{r^3}\frac{d}{dt}(r^2).$$

nhưng $\dot{\vec{r}} = \vec{v}$, $\dot{\vec{r}}^2 = \vec{v}^2 = v^2$, $\vec{r}^2 = r^2$

vì thế $\frac{d}{dt}(v^2) = -\frac{K}{r^3}\frac{d}{dt}(r^2) = -\frac{K}{r^3}2r\frac{dr}{dt} = 2K\frac{d}{dt}(\frac{1}{r})$

hay $$v^2 - \frac{2K}{r} = h \tag{I.29}$$

h gọi là hằng số năng lượng. Từ đó ta có

$$\frac{mv^2}{2} + (-\frac{mK}{r}) = \frac{mh}{2} \tag{I.30}$$

là định luật bảo toàn năng lượng. Năng lượng toàn phần là một đại lượng không đổi, bằng tổng động năng và thế năng.

c) Tích phân Laplace

Nhân $\ddot{\vec{r}} = -\frac{K}{r^3}\vec{r}$ với $\vec{C} = \vec{r}\wedge\dot{\vec{r}}$, ta có $\vec{C}\wedge\ddot{\vec{r}} = -\frac{K}{r^3}(\vec{r}\wedge\dot{\vec{r}})\wedge\vec{r}$

vì $\vec{a}\wedge\vec{b} = -(\vec{b}\wedge\vec{a})$ nên $\vec{C}\wedge\ddot{\vec{r}} = \frac{K}{r^3}(\vec{r}\wedge\vec{r})\wedge\dot{\vec{r}}$. Biến đổi vế phải nhờ công thức $\vec{a}\wedge(\vec{b}\wedge\vec{c}) = \vec{b}.(\vec{a}.\vec{c}) - \vec{c}(\vec{a}.\vec{b})$ ta nhận được:

$$C\wedge r = \frac{K}{r^3}\left[\vec{r}.(\vec{r}.\dot{\vec{r}}) - \dot{\vec{r}}.(\vec{r}.\vec{r})\right]$$

nhưng $\vec{r}.\vec{r} = r^2$, từ đó $\vec{r}.\dot{\vec{r}} = r.\dot{r}$, vì thế:

$$\vec{C}\wedge\ddot{\vec{r}} = -\frac{K}{r^3}\left[r^2.\dot{\vec{r}} - \vec{r}.(r.\dot{r})\right] = -K\frac{\dot{\vec{r}}r - r.\dot{r}}{r^2} = -K\frac{d}{dt}(\frac{\vec{r}}{r})$$

hay là $$\frac{d}{dt}(\vec{C}\wedge\dot{\vec{r}}) + K\frac{d}{dt}(\frac{\vec{r}}{r}) = 0$$

tích phân, ta có:

$$\vec{C}\wedge\vec{v} + K\frac{\vec{r}}{r} = -\vec{L} \tag{I.31}$$

$\vec{L}$ là một hằng số vectơ nào đó.

Phương trình này gọi là tích phân Laplace, L gọi là hằng số Laplace, $\vec{L}$ gọi là vectơ Laplace.

Vectơ diện tích vuông góc với vectơ Laplace, nghĩa là

$$\vec{C}.\vec{L} = 0 \qquad (I.32)$$

Thật vậy, nhân vô hướng 2 vế của tích phân Laplace với $\vec{C}$ thì:

$$\vec{C}.(\vec{C} \wedge \dot{\vec{r}}) + \frac{K}{r}(\vec{C}.\vec{r}) = -\vec{C}.\vec{L}$$

Vì $\vec{a} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b}) = \vec{b} \wedge (\vec{a} \wedge \vec{b}) = 0$ và $\vec{C}.\vec{r} = 0$ nên $\vec{C}.\vec{L} = 0$ hay

$$C_1L_1 + C_2L_2 + C_3L_3 = 0 \qquad (I.33)$$

Như vậy vectơ diện tích vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo của P, tức là vuông góc với vectơ Laplace nằm trong mặt phẳng quỹ đạo.

Giữa các hằng số tích phân có sự phụ thuộc lẫn nhau:

Ta có:

$$L^2 = K^2 + \frac{2K}{r}\vec{r}.(\vec{C} \wedge \vec{v}) + (\vec{C} \wedge \vec{v})^2 = K^2 - \frac{2K}{r}C^2 + C^2.v^2 = K^2 + hC^2$$

Vậy $$L^2 = K^2 + h.C^2 \qquad (I.34)$$

d) Phương trình quỹ đạo của vệ tinh. Định luật 1 Kepler

Ta có: $\vec{r} \wedge \vec{v} = \vec{C}$, $\vec{C} \wedge \vec{v} + K\frac{\vec{r}}{r} = -\vec{L}$

Khảo sát khi $\vec{C} = 0$, khi đó $\vec{r} = -\frac{\vec{L}}{K}r$. Đây là phương trình quỹ đạo thẳng.

Khi $\vec{C} \neq 0$, Nhân vô hướng r với tích phân Laplace, ta có:

$$\vec{r}.(\vec{C} \wedge \vec{v}) + K\frac{(\vec{r}.\vec{r})}{r} = -\vec{L}.\vec{r} \qquad (I.35)$$

hay $\vec{C}.(\vec{v} \wedge \vec{r}) + K\frac{r^2}{r} = -L.r.\cos\theta$. θ là góc giữa $\vec{r}$ và $\vec{L}$. Sử dụng tích phân diện tích, thì: $r(K + L.\cos\theta) = C^2$. Như vậy, khi $\vec{C} \neq 0$ và $K + L.\cos\theta \neq 0$ thì:

$$r = \frac{C^2}{K + L\cos\theta} = \frac{\frac{C^2}{K}}{1 + \frac{L}{K}\cos\theta} = \frac{p}{1 + e\cos\theta} \qquad (I.36)$$

Ở đây: $$p = \frac{C^2}{K}, \quad e = \frac{L}{K} \tag{I.37}$$

Đây là phương trình quỹ đạo, biểu diễn định luật Kepler.

Chuyển động của vệ tinh đối với vật thể trung tâm xảy ra theo một tiết diện cônic (elip, parabol, tròn, hybebol hay đường thẳng) mà nhận tâm hấp dẫn làm một tiêu điểm, trong đó p là thông số quỹ đạo. e là tâm sai quỹ đạo.

Trong chuyển động elip, giá trị r tại cận điểm quỹ đạo là:

$$r_c = \frac{p}{1+e} \quad (\theta = 0)$$

Giá trị r tại viễn điểm quỹ đạo là:

$$r_v = \frac{p}{1-e} \quad (\theta = 180^\circ) \tag{I.38}$$

Bán trục lớn quỹ đạo là:

$$a = \frac{1}{2}(r_c + r_v) \tag{I.39}$$

θ là góc cận điểm thực.

Hình dạng, độ lớn của quỹ đạo hoàn toàn xác định nếu biết p, e, a, b, c, r_c, r_v.

Vì rằng, từ hình elip, ta có:

$$b^2 + c^2 = a^2, \; b = a\sqrt{1-\varepsilon^2}, \; p = \frac{b^2}{a}, \; p = a(1-\varepsilon^2) \tag{I.40}$$

e) Định luật 3 Kepler

Từ tích phân diện tích, chu kỳ T ứng với thời gian bay một vòng, khi đó bán kính vectơ quét được diện tích toàn bộ elip. Ta có:

$$\pi ab = \frac{1}{2}CT, \quad T = \frac{2\pi ab}{C} = \frac{2\pi ab}{\sqrt{K\sqrt{p}}}$$

$$= \frac{2\pi ab}{\sqrt{K\sqrt{\frac{b^2}{a}}}}, \quad T = \frac{2\pi}{\sqrt{K}}a^{\frac{3}{2}}, \quad \frac{a^3}{T^2} = \frac{K}{4\pi^2} \tag{I.41}$$

Đây là định luật 3 Kepler

$$n = \frac{2\pi}{T} = \frac{\sqrt{K}}{a^{\frac{3}{2}}}. \tag{I.42}$$

gọi là vận tốc góc của chuyển động elip.

Trường hợp vật thể P(m) chuyển động quanh vật thể A(M), khi đó:

$$K = G(M+m) \text{ và } \frac{a^3}{T^2} = \frac{K}{4\pi^2}. \qquad (I.43)$$

Xét hai hành tinh có khối lượng m_1 và m_2 cùng chuyển động quanh Mặt Trời có khối lượng M, ta có:

Đối với hành tinh thứ nhất:

$$\frac{a_1^3}{T_1^2} = \frac{K(M+m_1)}{4\pi^2} \qquad (I.44.a)$$

Đối với hành tinh thứ hai:

$$\frac{a_2^3}{T_2^2} = \frac{K(M+m_2)}{4\pi^2} \qquad (I.44.b)$$

Như vậy, định luật thứ 3 Kepler tổng quát là:

$$\frac{a_1^3}{a_2^3} = \frac{T_1^2(M+m_1)}{T_2^2(M+m_2)} \qquad (I.45)$$

Nếu bỏ qua khối lượng m_1 và m_2 so với khối lượng M, ta lại nhận được biểu thức của định luật 3 Kepler rút ra từ quan sát. Như vậy, từ định luật vạn vật hấp dẫn, ta rút ra được định luật Kepler một cách tổng quát hơn.

3. Các yếu tố quỹ đạo

Giải hệ phương trình chuyển động, ta được 7 hằng số tích phân: 3 hằng số diện tích C_1, C_2, C_3, hằng số năng lượng h và 3 hằng số Laplace L_1, L_2, L_3. 7 hằng số này liên hệ với nhau bởi 2 phương trình:

$$\vec{C}.\vec{L} = 0 \text{ và } L^2 = K^2 + h.C^2 \qquad (I.46)$$

Chúng ta có thể biểu diễn 2 hằng số bất kỳ nào đó qua 7 hằng số: C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3. Như vậy, khi giải hệ phương trình chuyển động, ta chỉ có 5 hằng số tích phân độc lập tuyến tính.

Khi giải hệ phương trình chuyển động, tức là ta tìm nghiệm của hệ:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x}, \quad \frac{d\dot{x}}{dt} + K\frac{m}{r^3}x = 0, \qquad (I.47.a)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y}, \quad \frac{d\dot{y}}{dt} + K\frac{m}{r^3}y = 0, \qquad (I.47.b)$$

$$\frac{dz}{dt} = \dot{z}, \quad \frac{d\dot{z}}{dt} + K\frac{m}{r^3}z = 0 \qquad (I.47.c)$$

Nghiệm phải tìm là: $x, \dot{x}, y, \dot{y}, z, \dot{z}$. Do chỉ có 5 hằng số tích phân độc lập tuyến tính nên ta có thể biểu diễn một trong 6 đại lượng $x, \dot{x}, y, \dot{y}, z, \dot{z}$ qua 5 đại lượng còn lại. Ví dụ ta chọn đại lượng đó là x, thì ta được:

$$\dot{x} = f_1(x; C|h|L), \tag{I.48.a}$$

$$y = f_2(x; C|h|L),\ \dot{y} = f_3(x; C|h|L), \tag{I.48.b}$$

$$z = f_4(x; C|h|L),\ \dot{z} = f_5(x; C|h|L), \tag{I.48.c}$$

Giải phương trình đầu tiên trong 5 phương trình trên, ta có:

$$\frac{dx}{dt} = f_1(x, C|h|L) \rightarrow \int \frac{dx}{f_1(x, C|h|L)} = t + g, \tag{I.49}$$

ở đây g là một hằng số mới.

Nghiệm của phương trình trên được biểu diễn dưới dạng:

$$x = \varphi_1(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t). \tag{I.50}$$

Đặt giá trị của x vào 5 đại lượng trên đây, cuối cùng ta có nghiệm tường minh:

$$x = \varphi_1(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.a}$$

$$\dot{x} = \varphi_2(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.b}$$

$$y = \varphi_3(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.c}$$

$$\dot{y} = \varphi_4(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.d}$$

$$z = \varphi_5(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.g}$$

$$\dot{z} = \varphi_6(C_1, C_2, C_3, h, L_1, L_2, L_3, g, t) \tag{I.51.e}$$

Để xác định hằng số tích phân g, ta đặt:

$$\Phi(x, C|h|L) = \int \frac{dx}{f_1(x, C|h|L)} = t + g \tag{I.52}$$

Từ đó ta tìm được:

$$g = -t_0 + \Phi(x, C|h|L). \tag{I.53}$$

Hằng số tích phân thứ 6 của hệ phương trình chuyển động g được biểu diễn qua t_o. Nếu ta chọn khoảng thời gian đi qua cận điểm là $t_o = t$ thì ta có 6 hằng số độc lập tuyến tính. Như vậy, bài toán 2 vật thể đã giải được toàn phương.

Trong chuyển động elíp, 6 hằng số tích phân thường được lựa chọn là 6 yếu tố quỹ đạo. Đó là:

– Thông số quỹ đạo p hay bán trục lớn a, $p = a(1 - e^2)$, cho xác định độ lớn quỹ đạo.

Hình I.18. *Các yếu tố quỹ đạo*

– Góc nghiêng i giữa mặt phẳng quỹ đạo và mặt phẳng cơ bản cho xác định sự định hướng quỹ đạo trong không gian: $0 \le i \le 90°$.

– Tâm sai quỹ đạo e, cho xác định hình dạng quỹ đạo.

– Kinh độ nút lên Ω cho xác định vị trí của mặt phẳng quỹ đạo, là góc quay trục Oξ đến đường nút, thành trục Oξ' trong hệ tuyệt đối $0 \le \Omega \le 360°$.

– Kinh độ cận điểm ω cho xác định vị trí của vật chuyển động trên quỹ đạo, là góc quay trục Oξ' thành trục Ax (A cho trùng với O) trong hệ toạ độ quỹ đạo: $0 \le \omega \le 360°$.

– Thời điểm t đi qua cận điểm cho xác định vật chuyển động trên quỹ đạo ở một thời điểm bất kỳ.

Như vậy, ta đã chuyển từ toạ độ tuyệt đối sang hệ toạ độ tương đối (hệ quỹ đạo). Mặt phẳng cơ bản ở đây được lựa chọn tùy thuộc vào bài toán ta giải. Nếu xét chuyển động của hành tinh quanh Mặt Trời thì mặt phẳng cơ bản được chọn là mặt phẳng Hoàng đạo. Quỹ đạo hành tinh cắt mặt phẳng Hoàng đạo tại 2 điểm, nút lên và nút xuống. Nếu xét chuyển động của Mặt Trăng hay vệ tinh nhân tạo Trái Đất thì mặt phẳng cơ bản ở đây là mặt phẳng xích đạo Trái Đất...

4. Chuyển động không nhiễu loạn

Bài toán hai vật thể là bài toán cơ bản của cơ học thiên thể. Khi một chất điểm chuyển động và chỉ chịu tác dụng hấp dẫn của một vật thể khác, thì chuyển động đó gọi là chuyển động không nhiễu loạn. Trên thực tế, nếu hai vật thể có hình dạng và cấu trúc cầu hoặc kích thước của chúng nhỏ so với khoảng cách giữa chúng thì khi đó chúng được xem là những chất điểm.

Hình I.19. Chuyển động elip

Trong chuyển động không nhiễu loạn, quỹ đạo của chúng tuân theo các định luật Kepler và các yếu tố quỹ đạo là những hằng số.

Trong chuyển động elip, quỹ đạo elip của P (hình I.19) được cho bởi các phương trình:

$$\begin{aligned} x &= a\cos E \\ y &= b\sin E \end{aligned} \Rightarrow \frac{x^2}{a^2} = \frac{y^2}{b^2} \qquad (I.54)$$

$$b^2 + c^2 = a^2, b = a\sqrt{1-e^2}$$

$$p = \frac{b^2}{a} = a(1-e^2)$$

Vị trí của vật chuyển động P hoàn toàn được xác định tại một thời điểm t bất kỳ nếu ta biết được E. E gọi là góc cận điểm tâm sai. Khi E = 0 thì P có toạ độ là (a, 0), tức là P nằm tại cận điểm C của quỹ đạo, khi đó $r_c = a(1 - e)$, và khi P nằm tại viễn điểm V thì $r_v = a(1 + e)$.

Tâm hấp dẫn A có toạ độ là (c, 0), thì toạ độ của P là (acosE, bsinE) và ta có thể biểu diễn độ dài của bán kính vectơ AP của P qua E là:

$$r^2 = AP^2 = (a\cos E - c)^2 + (b\sin E)^2$$

Sử dụng đẳng thức c = ea; $b^2 = a^2(1 - e^2)$ ta được: r = a(1 – ecosE).

Vế phải luôn luôn dương vì trong chuyển động elip, thì:

$$a > 0; \quad 0 < e < 1; \quad \cos E < 1$$

Giả sử tại t_o P ở cận điểm C, tại thời điểm t ở vị trí P, có góc cận điểm tâm sai là E và được xác định bởi công thức r =a(1 – ecosE). Vì

phân 2 vế đẳng thức này, ta được: $\frac{dr}{dt} = \frac{dr}{d\varphi}\frac{d\varphi}{dt}$. Nhưng $r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi}$ và

$r^2\frac{d\varphi}{dt} = C$ nên $\frac{dr}{dt} = \frac{C}{p}e\sin\varphi$. Tung độ của P là: $r\sin\varphi = b\sin E$, nên:

$$ae\sin E\frac{dE}{dt} = \frac{C}{p}e\sin\varphi \Rightarrow ar\sin E\frac{dE}{dt} = \frac{C}{p}r\sin\varphi = \frac{C}{p}b\sin E \Rightarrow r\frac{dE}{dt} = \frac{Cb}{ap} = \frac{b}{a}C\frac{a}{b^2} = \frac{C}{b}$$

thay $r = a(1 - e\cos E)$ vào biểu thức trên, ta có:

$$(1 - e\cos E)\frac{dE}{dt} = \frac{C}{ab} \Rightarrow \frac{d}{dt}(E - e\sin E) = n\text{, ở đây } n = \frac{C}{ab}.$$

Do đó, ta có: $(1 - e\cos E)dE = ndt$, $d(E - e\sin E) = ndt$

Tích phân 2 vế ta được:

$$E - e\sin E = n(t - t_0) = n\tau \qquad (I.55)$$

Đại lượng $M = n(t - t_0)$ (I.56)

gọi là góc cận điểm trung bình.

Phương trình này gọi là phương trình Kepler đối với chuyển động elip. Phương trình này được giải bằng phương pháp gần đúng liên tiếp, có khi còn gọi là phương pháp lặp hay phương pháp điểm cố định.

Như vậy, từ các công thức trong chuyển động elip:

$$r = \frac{p}{1 + e\cos\varphi};\ r = a(1 - e\cos E);\ p = a(1 - e^2) \text{ ta có } 1 - e\cos E = \frac{1 - e^2}{1 + e\cos\varphi}$$

Ta tính được:

$$\cos\varphi = \frac{\cos E - e}{1 - e\cos E},\ 1 - \cos\varphi = \frac{(1 + e)(1 - \cos E)}{1 - e\cos E},\ 1 + \cos\varphi = \frac{(1 - e)(1 + \cos E)}{1 - e\cos E}$$

và $$\tan^2\frac{\varphi}{2} = \frac{1 - \cos\varphi}{1 + \cos\varphi} = \frac{(1 + e)(1 - \cos E)}{(1 - e)(1 + \cos E)} = \frac{1 + e}{1 - e}\tan^2\frac{E}{2}. \qquad (I.57)$$

Giải phương trình Kepler, ta có giá trị của E. Từ phương trình trên, ta xác định được φ và từ phương trình quỹ đạo, tính được r, nghĩa là xác định được vị trí của thiên thể trên quỹ đạo ở một thời điểm bất kỳ.

Trong cơ học thiên thể, bài toán xác định toạ độ nhìn thấy thông qua các yếu tố quỹ đạo gọi là bài toán thuận. Bài toán xác định quỹ đạo cụ thể dựa trên các tọa độ quan sát để xác định các yếu tố quỹ đạo, gọi là bài toán ngược.

5. Quỹ đạo của các thành viên trong hệ Mặt Trời

Định luật 1 Kepler mô tả quỹ đạo chuyển động trong bài toán hai vật thể, quỹ đạo đó có thể là đường tròn, elip, parabol hay hypebol.

Các hành tinh trong hệ Mặt Trời chuyển động theo quỹ đạo elip có tâm sai rất bé, nhận Mặt Trời làm tiêu điểm.

Mặt Trăng chuyển động quanh khối tâm chung hệ Trái Đất – Mặt Trăng theo quỹ đạo elip với tâm sai e = 0,055 và khối tâm chung đó lại chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip với tâm sai e = 0,017.

Hoả tinh có 2 vệ tinh: Phobos có quỹ đạo elip với tâm sai e = 0,015 và Deimos có quỹ đạo elip, gần như tròn.

Các vệ tinh của hành tinh khác: Mộc tinh: (63); Thổ tinh: (34); Thiên tinh: (15); Hải tinh: (8) có quỹ đạo elip, gần như tròn.

Hầu hết các sao chổi có quỹ đạo quanh Mặt Trời là những elip rất dẹt. Trong một số trường hợp, do nhiễu loạn hành tinh nên quỹ đạo của một số sao chổi là hypebol, sau khi đi qua gần Mặt Trời chúng thoát ra khỏi hệ Mặt Trời.

6. Vận tốc trên các quỹ đạo

Các vật thể nhân tạo được phóng lên từ bề mặt Trái Đất và chuyển động xung quanh Trái Đất hoặc thoát ra khỏi trường hấp dẫn của Trái Đất và bay vào hệ Mặt Trời. Khi tách ra khỏi tên lửa đẩy, các vật thể nhân tạo đã thu được một vận tốc xác định theo phương nằm ngang, tại điểm vào quỹ đạo. Các vật thể nhân tạo chuyển động quanh Trái Đất được gọi là vệ tinh nhân tạo. Vệ tinh nhân tạo đầu tiên của Nga được phóng vào quỹ đạo Trái Đất ngày 4 tháng 10 năm 1957 đã mở đầu cho kỷ nguyên vũ trụ. Tàu thám hiểm Voyager 2 của Mỹ được phóng năm 1977 để khám phá Hệ Mặt Trời, tới Mộc tinh 1979, tới Thổ tinh 1981, tới Thiên tinh 1986 và tới Hải tinh 1989. Đây là một trong những thành tựu vĩ đại của ngành khoa học vũ trụ.

Vận tốc trên quỹ đạo tròn của vệ tinh nhân tạo được tính theo công thức:

$$V_t = \sqrt{\frac{GM}{r}} \qquad (I.58)$$

Nếu ta lấy r là bán kính xích đạo Trái Đất $R = 6{,}38.10^6$m, $M = 5{,}98.10^{24}$kg là khối lượng Trái Đất, $G = 6{,}67.10^{-11}Nm^2/kg^2$ là hằng số hấp dẫn, thì ta được

$$V_1 = 7{,}91km/s. \qquad (I.59)$$

Đây là vận tốc vũ trụ cấp 1. Nếu truyền cho vệ tinh một vận tốc bằng vận tốc vũ trụ cấp 1 thì nó sẽ chuyển động theo quỹ đạo tròn quanh Trái Đất. Ở độ cao h kể từ bề mặt Trái Đất, vận tốc quỹ đạo là:

$$V_h = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}. \qquad (I.60)$$

Đại lượng R + h gọi là khoảng cách địa tâm.

Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất ở khoảng cách địa tâm 384.000km với vận tốc quỹ đạo 1,02km/s.

Trạm Vũ trụ Hoà Bình của Nga ở độ cao 620km tương ứng với vận tốc quỹ đạo 7,54km/s và chu kỳ chuyển động 97 ph. Tàu Vũ trụ Con thoi của Mỹ và một số vệ tinh liên lạc có khoảng cách địa tâm khoảng 500km tương ứng với vận tốc cỡ 7,61km/s và chu kỳ chuyển động cỡ 94 ph. Các vệ tinh địa tĩnh có chu kỳ chuyển động là một ngày sẽ trở nên cố định tại một điểm cố định trên bầu trời, ở độ cao khoảng 36000km. Ngày nay vệ tinh địa tĩnh được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực dự báo khí tượng, thông tin liên lạc và khảo sát mặt đất từ vũ trụ.

Các thiên thể (các hành tinh, các vệ tinh, các sao...) đều có trường hấp dẫn riêng và được đặc trưng bởi cầu hấp dẫn của chúng. Bán kính cầu hấp dẫn của Trái Đất trong hệ Trái Đất – Mặt Trời là 930000km. Bán kính cầu hấp dẫn của Mặt Trăng trong hệ Trái Đất – Mặt Trăng là 66000km. Khi một tàu vũ trụ đi vào cầu hấp dẫn của Mặt Trăng, lực chiếm ưu thế lên chuyển động của tàu là lực hấp dẫn của Mặt Trăng, còn lực hấp dẫn của Trái Đất và các hành tinh khác có thể bỏ qua.

Các vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ khi thu được vận tốc đủ lớn sẽ thoát ra khỏi trường hấp dẫn của Trái Đất, chuyển động theo quỹ đạo parabol. Vận tốc trên quỹ đạo parabol được tính theo công thức:

$$V_p = \sqrt{\frac{2GM}{R+h}}. \qquad (I.61)$$

Trên bề mặt Trái Đất, h = 0, ta có:

$$V_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2V_1} = 11{,}19\text{km/s}. \qquad (I.62)$$

Đây là vận tốc vũ trụ cấp 2, gọi là vận tốc thoát, tức là vận tốc tối thiểu mà vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ cần có để thoát ra khỏi trường hấp dẫn của Trái Đất.

– Khi tàu vũ trụ nhận được vận tốc vũ trụ cấp 3 (V_3 = 16,6km/s) thì nó sẽ tách ra khỏi Hệ Mặt Trời và chuyển động theo quỹ đạo hypebol đi vào không gian giữa các vì sao.

VI– BÀI TOÁN N VẬT THỂ. CHUYỂN ĐỘNG NHIỄU LOẠN

1. Bài toán n vật thể

Dưới sự hấp dẫn của Mặt Trời, các hành tinh chuyển động theo quỹ đạo Kepler, gọi là chuyển động không nhiễu loạn. Trong thực tế, ngoài tác dụng của Mặt Trời, hành tinh còn chịu tác dụng của các hành tinh và vệ tinh khác, làm cho quỹ đạo của nó sai lệch với quỹ đạo Kepler. Chuyển động đó gọi là chuyển động nhiễu loạn.

Ta xét ảnh hưởng của nhiễu loạn lên chuyển động của hành tinh.

Gọi khối lượng của Mặt Trời là m_0, của các hành tinh là m_1, m_2, ... m_n. Lực hấp dẫn giữa hai vật thể i và j là:

$$F_{i,j} = G\frac{m_i m_j}{r_{i,j}^2} \qquad (I.63)$$

Thành phần lực hấp dẫn trên trục Ox là:

$$X_i'' = G\sum_{j=0}^{n} m_j \frac{X_j - X_i}{r_{i,j}^3} \qquad (I.64)$$

Đối với Mặt Trời, thì:

$$X_o'' = G\sum_{j=1}^{n} m_j \frac{X_j - Xo}{r_{o,j}^3} \qquad (I.65)$$

Nếu xét trong hệ tương đối, gốc toạ độ ở Mặt Trời, thì:

$$x_i'' = X_i'' - X_0'' = Gm_0\frac{-x_i}{r_{0,i}^3} + G\sum_{j=1}^{n'} m_j \frac{x_j - x_i}{r_{i,j}^3} - (Gm_i\frac{x_i}{r_{o,i}^3} + G\sum_{j=1}^{n'} m_j \frac{x_j}{r_{o,j}^3}) \qquad (I.66)$$

Ta có:

$$x_i'' = -G(m_0 + m_i)\frac{x_i}{r_{o,i}^3} + G\sum_{j=1}^{n'} m_j(\frac{x_j - x_i}{r_{i,j}^3} - \frac{x_j}{r_{o,j}^3})$$

$$= -\mu\frac{x_i}{r_{o,i}^3} + G\sum_{j=1}^{n'} m_j(\frac{x_j - x_i}{r_{i,j}^3} - \frac{x_j}{r_{o,j}^3}) \qquad (I.67)$$

Ta cũng có 2 thành phần y và z tương tự. Gia tốc tác dụng lên hành tinh gồm có: $-\mu\frac{r_i}{r_{0i}^3}$ là gia tốc Mặt Trời tác dụng lên vật thể thứ i, số hạng

sau là gia tốc nhiễu loạn, do tác dụng của các hành tinh còn lại lên hành tinh thứ i và gia tốc của các hành tinh còn lại tác dụng lên Mặt Trời.

2. Chuyển động nhiễu loạn

Khi một thiên thể chuyển động, ngoài lực hấp dẫn của vật thể trung tâm, nó còn chịu tác dụng hấp dẫn của các vật thể khác hoặc còn chịu tác dụng của các loại lực khác, làm cho quỹ đạo của nó sai lệch với quỹ đạo Kepler. Chuyển động như vậy gọi là chuyển động nhiễu loạn. Khi đó các yếu tố quỹ đạo không phải là một hằng số, mà là một hàm của thời gian.

Đối với các vật thể tự nhiên như các hành tinh, các vệ tinh, chúng ta có thể quan sát chuyển động của chúng nhưng chuyển động của chúng không chịu một sự tác động nào từ phía con người.

Đối với các vật thể nhân tạo như vệ tinh nhân tạo, tàu vũ trụ, trạm không gian giữa các hành tinh thì chuyển động của chúng chịu tác động hấp dẫn của các hành tinh, vệ tinh tự nhiên và chịu tác động của lực do con người tạo ra.

Nhiều vật thể nhân tạo chuyển động quanh Trái Đất với độ cao không lớn lắm nên chịu sự hấp dẫn của Trái Đất là chủ yếu. Khi đó, Trái Đất không thể xem như là một chất điểm (có dạng hình cầu) mà phải tính đến sự không hình cầu của Trái Đất.

Thế năng hấp dẫn của Trái Đất được Uỷ ban N° 7 Hội Thiên văn Quốc tế thừa nhận là công thức chuẩn, có dạng:

$$U=\frac{GM}{r}\left\{1-\sum_{n=2}^{\infty}J_n\left(\frac{r_o}{r}\right)^n P_n(\sin\varphi)+\sum_{n=2}^{\infty}\sum_{k=1}^{n}\left(\frac{r_o}{r}\right)^n P_n^{(k)}(\sin\varphi)\left[C_{n,k}\cos k\lambda+B_{n,k}\sin k\lambda\right]\right\} \quad (I.68)$$

Ở đây G là hằng số hấp dẫn, M và r_o là khối lượng và bán kính xích đạo Trái Đất, J_n, $C_{n,k}$, $S_{n,k}$ là những hệ số không thứ nguyên, phụ thuộc vào hình dạng và sự phân bố vật chất bên trong Trái Đất, P_n và $P_n^{(k)}$ là đa thức Lagrange và hàm phù hợp Lagrange; r, φ, λ là bán kính vectơ, độ vĩ, độ kinh của một điểm trong trường lực hấp dẫn của Trái Đất.

Ta có thể viết biểu thức thế năng hấp dẫn của Trái Đất dưới dạng:

$$U=\frac{GM}{r}+U_1 \quad (I.69)$$

Trong đó U_1 là đại lượng đặc trưng cho sự không hình cầu của Trái Đất. Phương trình chuyển động bây giờ được viết lại là:

$$\frac{d^2\vec{r}}{dt^2}=\frac{\partial U}{\partial \vec{r}}=-\frac{GM}{r^3}\vec{r}+\frac{\partial U_1}{\partial \vec{r}}=-\frac{GM}{r^3}\vec{r}+\vec{F}_1 \quad (I.70)$$

Số hạng thứ nhất bên phải phương trình trên là gia tốc hấp dẫn của vệ tinh dưới tác dụng của lực hấp dẫn hình cầu, số hạng thứ 2 là gia tốc nhiễu loạn, gây nên bởi sự không hình cầu của Trái Đất.

Nhiễu loạn đối với các vật thể nhân tạo chủ yếu là do sự không hình cầu của Trái Đất, ngoài ra còn tính đến các nhiễu loạn khác như hấp dẫn của Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh và vệ tinh khác, sức cản của khí quyển, áp suất ánh sáng...

VII– CƠ HỌC THIÊN THỂ VÀ KỶ NGUYÊN KHÁM PHÁ VŨ TRỤ

1. Cơ học thiên thể, một lĩnh vực của thiên văn lý thuyết

Cơ học thiên thể chuyên nghiên cứu chuyển động, hình dạng, độ lớn, tính bền vững của các thiên thể và hệ các thiên thể. Đó là một ngành khoa học ra đời rất sớm, nhưng ngày nay, nó cũng được làm trẻ lại nhờ các phương tiện của khoa học, công nghệ tiên tiến.

Ngay từ thời cổ đại, năm 1800 trước CN, người Babylone đã làm lịch dựa trên sự di chuyển của Mặt Trời và những tuần Trăng. Năm 200 trước CN: Eratosthene de Cyrene đã tính được chu vi Trái Đất với độ chính xác không ngờ. Việc phát minh ra các định luật Kepler, định luật vạn vật hấp dẫn... đã đặt nền móng cho cơ học thiên thể phát triển. Việc phát hiện ra Hải tinh bằng cách giải bài toán nhiều vật đã chứng tỏ sự đúng đắn của các định luật đó và sự kỳ diệu của cơ học thiên thể.

Mục đích cuối cùng của cơ học thiên thể là biểu diễn toạ độ của các thiên thể như những hàm của thời gian nhằm mô tả chuyển động và xác định vị trí của chúng ở một thời điểm bất kỳ. Ngành cơ học thiên thể của thế kỷ XIX và XX đã có những đóng góp to lớn trong vấn đề này. Những công trình đầu tiên phải kể đến lý thuyết giải tích về chuyển động của Mặt Trăng của Hill G.W và Brauwer D, lý thuyết chuyển động các hành tinh lớn của Newcomb S. và Hill G. W. Chúng ta không phủ nhận những công trình đồ sộ đó của các nhà cơ học thiên thể trong quá khứ, nhưng lý thuyết đó đã không đáp ứng được những yêu cầu của quan sát hiện tại.

Độ chính xác của lý thuyết xác định độ chính xác của việc quan sát. Hơn trăm năm lại nay, độ chính xác trong quan sát bằng phương pháp thông thường tăng lên khoảng chục lần, việc ứng dụng kỹ thuật laze, độ chính xác của quan sát thiên văn tăng lên khoảng ngàn lần.

Điều đó đòi hỏi cơ học thiên thể phải xây dựng những lý thuyết mới, chính xác hơn, nhằm mô tả chuyển động của các thiên thể trong một khoảng thời gian dài. Nhưng độ chính xác của các phương pháp giải tích trong cơ học thiên thể tăng lên một bậc độ lớn dẫn đến tăng khối lượng tính toán lên 4 – 5 lần. Nếu trong lý thuyết cổ điển mô tả chuyển động của Mặt Trăng và các hành tinh của Delaunay C. chứa những công thức có đến 10000 số hạng (phải tính toán mất 20 năm) thì trong lý thuyết hiện đại có những chuỗi số chứa tới hàng trăm ngàn số hạng. Điều đó, không thể tính toán bằng tay trên giấy. Việc đưa các phép toán giải tích thực hiện biến đổi các công thức toán học đã được hỗ trợ bởi máy tính điện tử. Ngày nay, nhiều trung tâm khoa học nghiên cứu về cơ học thiên thể ở Mỹ, Anh, Pháp, Nga... với việc áp dụng máy tính đã thực hiện các phương pháp giải tích đáp ứng được các yêu cầu của quan sát hiện tại, đặc biệt trong lĩnh vực thám hiểm không gian vũ trụ. Công trình đồ sộ nhất trong cơ học thiên thể là bảng các hệ số Hansen của khai triển các hàm toạ độ trong chuyển động elip. Sau hơn 100 năm tính toán, W. Kanla, A. Cayley, J.R. Cherniack đã thu được bảng hệ số Hasen đến luỹ thừa chín của tâm sai quỹ đạo. Năm 1961, 1962, tại phòng thí nghiệm Lực lượng Hải quân Mỹ, M. Jarnagin đã thu được bảng hệ số Hansen trên máy tính NORC với lũy thừa bất kỳ của tâm sai quỹ đạo...

2. Kỷ nguyên khám phá Vũ trụ

Từ thời xa xưa, con người đã mơ ước được bay vào vũ trụ, du hành giữa các vì sao. Vào thế kỷ XVIII, Anh em nhà Montgolfier đã bay lên không trung nhờ bóng thám không bơm đầy khí nóng. Trong đại chiến thế giới lần thứ 2, Đức đã sử dụng tên lửa V2.

Ngày 4/10/1957, vệ tinh Spoutnic 1 của Nga đã bay vòng quanh Trái Đất, và sau đó 2 năm, tàu thăm dò Luna 2 của Nga đã đáp xuống Mặt Trăng, Luna 3 đã bay vòng phía sau chụp ảnh Mặt Trăng, và 12/4/1961, tàu vũ trụ Phương Đông của Nga lần đầu tiên đưa người vào Vũ trụ. Từ đây, kỷ nguyên khám phá, chinh phục vũ trụ bắt đầu.

Chương trình Apôlô thám hiểm và đưa người đổ bộ Mặt Trăng của Mỹ, tàu thám hiểm vũ trụ Voyager của Mỹ có thời gian kéo dài trong gần 15 năm thám hiểm các hành tinh trong Hệ Mặt Trời, Kính vũ trụ Hubble... là những minh chứng hùng hồn về thành tựu vĩ đại của loài người trong việc khám phá, chinh phục vũ trụ.

Trái Đất (1977), Mộc tinh (1979), Thổ tinh (1981), Thiên tinh (1986), Hải tinh (1989)

Hình I.20. *Tàu Thám hiểm Vũ trụ Voyager 2 của Mỹ được phóng vào năm 1977, tới Mộc tinh 1979, Thổ tinh 1981, Thiên tinh 1986 và Hải tinh 1989.*

Tên lửa vũ trụ là phương tiện để đưa vệ tinh nhân tạo, trạm không gian, tàu vũ trụ... vào quỹ đạo. Tên lửa Proton của Nga nặng 705 tấn, có thể đưa lên không gian một trọng tải lớn. Tên lửa Arian của Châu Âu có thể đưa 2 vệ tinh lên quỹ đạo trong cùng một chuyến bay, với tải trọng lên đến 12 tấn. Tàu con thoi của Mỹ thực hiện chuyến bay đầu tiên vào năm 1981.

Trạm không gian Hoà Bình của Nga được phóng lên năm 1986, là một tổ hợp khổng lồ do 6 module ráp nối với nhau, có thể tiếp nhận 12 phi hành gia cùng một lúc. Trạm Không gian Quốc tế ISS là một sự hợp tác rộng lớn trong lịch sử chinh phục không gian, 16 quốc gia cùng hợp tác xây dựng. Các trạm nghiên cứu vũ trụ trên quỹ đạo như Skylab của Mỹ, Spacelab của châu Âu... đã thực hiện các chương trình nghiên cứu khám phá vũ trụ.

Hiện có rất nhiều cơ quan nghiên cứu không gian vũ trụ của các nước Nga, Mỹ, Trung Quốc, Canađa, Anh, Pháp, Đức, Nhật... Phần lớn các cơ quan này đã hợp tác với nhau để cùng thực hiện nghiên cứu không gian. Một số cơ quan không gian đã ký hiến chương về hợp tác trong trường hợp thiên tai, thảm họa.

Hệ Mặt Trời là đối tượng đầu tiên được khám phá, nghiên cứu. Chương trình nghiên cứu các hành tinh, các vệ tinh bởi tàu vũ trụ Phobos, Voyager, bởi các chuyến bay Galileo, CRAF Ulyssé và Soho – Cluster, bởi trạm quan sát không gian Hubble và Infrared...

Vũ trụ là một phòng thí nghiệm thiên nhiên vĩ đại. Khám phá vũ trụ không những giúp ta hiểu biết về nó, chinh phục nó, mà còn được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực của khoa học, công nghệ nhằm phục vụ tốt hơn đời sống con người.

BÀI TẬP CHƯƠNG I

Động lực học Hệ Mặt Trời

1.1. Giải thích chuyển động theo đường nút trên thiên cầu của các hành tinh trong và hành tinh ngoài.

1.2. Dựa vào mô hình nhật tâm Copernicus, hãy giải thích các hiện tượng thiên văn sau đây:

– Chuyển động nhật động của Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh, các sao.

– Chuyển động của Mặt Trời giữa các sao mỗi ngày khoảng 1°, của Mặt Trăng mỗi ngày khoảng 13°.

– Hai pha nhìn thấy của Kim tinh: sao Hôm và sao Mai.

– Ly giác cực đại của Thuỷ tinh và Kim tinh.

1.3. Dựa vào đặc điểm chuyển động nhìn thấy của Thuỷ tinh và Kim tinh, tính khoảng cách từ chúng đến Mặt Trời và chu kỳ chuyển động của chúng. Cho biết khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời là một đơn vị thiên văn và chu kỳ chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời là 1 năm. Xem quỹ đạo các hành tinh quanh Mặt Trời là tròn.

1.4. Một vệ tinh chuyển động quanh Trái Đất với chu kỳ T. Quỹ đạo của nó có tâm sai e và bán trục lớn a.

a) Tính vận tốc dài của nó tại cận điểm và viễn điểm.

b) So sánh 2 vận tốc ấy.

1.5. Coi Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo tròn. Tính tốc độ dài của Trái Đất. Muốn cho nó thoát khỏi Hệ Mặt Trời thì cần tăng tốc cho nó tới vận tốc bao nhiêu?

1.6. Hãy tìm độ cao và tốc độ ngang cần thiết cho một vệ tinh liên lạc có chu kỳ chuyển động quanh Trái Đất bằng chu kỳ tự quay của Trái Đất.

1.7. Mặt Trời, Trái Đất, vật nào hút Mặt Trăng một lực lớn hơn?

1.8. Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elip, nhận khối tâm chung hệ Trái Đất – Mặt Trăng làm tiêu điểm. Tìm toạ độ khối tâm chung đó.

1.9. Biết khoảng cách và vận tốc của tàu vũ trụ tại cận điểm quỹ đạo. Tìm khoảng cách và vận tốc của nó tại viễn điểm.

1.10. Xác định khối lượng Mặt Trời, cho biết khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời là $1.50.10^{11}$km. Chu kỳ quay của Trái Đất quanh Mặt Trời là $3,16.10^{7}$s.

1.11. Từ Trái Đất, người ta truyền cho một vệ tinh nhân tạo một vận tốc v_o theo phương thẳng đứng. Vệ tinh bay đến độ cao h thì vận tốc của nó bằng không, lúc này, người ta lại truyền cho nó một vận tốc v_1 theo phương ngang để nó chuyển động quanh Trái Đất theo quỹ đạo elíp. Khi vệ tinh đi đến khoảng cách viễn điểm của quỹ đạo của nó, người ta lại giảm vận tốc của nó để nó có thể đổ bộ trên mặt đất.

Tính vận tốc v_o và v_1 và độ giảm vận tốc của vệ tinh.

1.12. Tính thời gian cần thiết để trạm vũ trụ bay đến Hoả tinh, nghỉ lại trên Hoả tinh và quay về Trái Đất theo quỹ đạo tối ưu nhất. Xem rằng quỹ đạo của Trái Đất và Hoả tinh là tròn có bán kính tương ứng là 1 đvtv và 1,6 đvtv.

1.13. Cần truyền cho tàu vũ trụ một vận tốc tối thiểu là bao nhiêu khi nó đang bay ở độ cao 230km từ bề mặt Trái Đất để nó có thể bay về cận điểm quỹ đạo Mặt Trăng? Lực hấp dẫn của Mặt Trăng lên con tàu có thể bỏ qua. Cho biết khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng là 384.000km. Tâm sai quỹ đạo Mặt Trăng là e = 1/18.

1.14. Ngày 13/3/1989 tàu vũ trụ con thoi Discovery đã chở 5 nhà du hành vũ trụ ở độ cao 295km trên bề mặt Trái Đất. Ở độ cao này, tàu thực hiện một một vòng bay xung quanh Trái Đất trong thời gian 90ph.

Xác định vận tốc và gia tốc của tàu.

1.15. Một vệ tinh nhân tạo chuyển động tròn quanh Trái Đất với chu kỳ là 7 ngày. Biết mặt phẳng quỹ đạo của vệ tinh trùng với mặt phẳng bạch đạo. Hãy tính:

a) Chu kỳ giao hội của vệ tinh với Mặt Trăng.

b) Khoảng cách từ vệ tinh đến mặt đất.

1.16. Sử dụng công thức $g = GM/R^2$, tính gia tốc hấp dẫn trên bề mặt Mặt Trăng và tốc độ thoát của Mặt Trăng.

1.17. Nêu nguyên tắc xác định khoảng cách đến các thiên thể và nêu lên các đơn vị đo khoảng cách hay dùng trong Thiên văn. Từ đó, nêu phương pháp xác định kích thước của các thiên thể.

Chương II

HỆ TRÁI ĐẤT – MẶT TRĂNG

I– TỪ TRÁI ĐẤT QUAN SÁT BẦU TRỜI

1. Thiên cầu và nhật động

Nhìn lên bầu trời, ta có cảm giác như vũ trụ được giới hạn bởi một vòm cầu trong suốt có bán kính vô cùng lớn, trên đó có gắn các thiên thể mà trung tâm là nơi ta đứng. Vòm cầu tưởng tượng này được gọi là thiên cầu.

Những đêm trời quang, bầu trời đầy sao lấp lánh. Bằng mắt thường có thể nhìn thấy 6.000 sao. Đó là những sao thuộc dải Ngân hà và ở gần Trái Đất nhất. Bằng kính thiên văn, ta có thể nhìn thấy hàng tỷ sao. Thiên hà là một tập hợp vô số sao, trong đó Mặt Trời là một sao cỡ trung bình. Trong vũ trụ còn có rất nhiều thiên hà. Nói chung, các thiên thể trên thiên cầu ở rất xa. Mặt Trăng là vệ tinh của Trái Đất, cách Trái Đất 384.400km. Mặt Trời ở cách xa Trái Đất 15 triệu kilômét. Các sao ở rất xa. Ngôi sao gần nhất là Cận tinh cách ta 4,3 năm ánh sáng. Mặc dù các sao đều chuyển động trong không gian nhưng vì chúng ở quá xa nên vị trí tương đối giữa chúng hầu như không thay đổi. Từ trước Công nguyên, người ta đã ghép các sao trong một vùng trên thiên cầu thành những hình nhất định gọi là chòm sao. Hiện nay, theo quy ước trên bầu trời có 88 chòm sao, được đặt tên theo thần thoại như Thiên Vương, Thiên Hậu, Vũ Tiên; tên con vật như Thiên Long, Thiên Nga; tên đồ vật như Thiên Bình, Thiên Cầm. Một số sao sáng cũng được đặt tên như Thiên Lang (sao sáng nhất bầu trời), Ngưu Lang, Chức Nữ... Từ thế kỷ XVII, tất cả các sao trong các chòm đều được ký hiệu bằng các chữ cái Hy Lạp ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$...). Như vậy, tất cả các sao mà ta nhìn thấy trên bầu trời đều có địa chỉ. Sao Bắc cực hầu như đứng yên ở phương Bắc, là sao α thuộc chòm Tiểu Hùng. Sao Thiên Lang là sao α thuộc chòm Đại Khuyển.

Khi quan sát các thiên thể trên bầu trời người ta nhận thấy Mặt Trời di chuyển giữa các sao mỗi ngày khoảng 1°, Mặt Trăng di chuyển mỗi ngày khoảng 13°. Có 5 thiên thể giống như 5 ngôi sao sáng dịch chuyển giữa các chòm sao. Đó là 5 hành tinh nhìn thấy bằng mắt

thường. Từ xa xưa, người ta đã đặt ra tuần lễ có 7 ngày, trong một số ngôn ngữ, tên các ngày trong tuần là tên của 7 thiên thể này như trong tiếng Anh, thứ 7 là ngày Thổ tinh, chủ nhật là ngày Mặt Trời, thứ 2 là ngày Mặt Trăng...

Do Trái Đất đang quay theo chiều từ tây sang đông nên ở trên Trái Đất, ta thấy Mặt Trời, Mặt Trăng, các sao... đều mọc ở phía đông, từ từ dịch chuyển trên bầu trời rồi lặn ở phía tây. Mỗi thiên thể vẽ nên trên thiên cầu một vòng tròn, hiện tượng này gọi là nhật động. Nhật động có chu kỳ là một ngày đêm. Do nhật động, ta cảm thấy thiên cầu và các thiên thể quay quanh một trục gọi là trục vũ trụ. Trục vũ trụ đi qua tâm thiên cầu, cắt thiên cầu tại thiên cực bắc P và thiên cực nam P'. Thiên cực bắc ở gần sao Bắc Cực. Nước ta ở bắc địa cầu nên điểm P' ở dưới đường chân trời. Trục vũ trụ có phương trùng với trục quay của Trái Đất.

Khi đi trên biển, trên thảo nguyên..., con người cần biết cách xác định phương hướng. Từ xưa, người ta đã biết tìm sao Bắc Cực để xác định phương bắc. Muốn tìm sao Bắc Cực, trước hết phải tìm chòm Đại Hùng (con Gấu lớn). Chòm này có 7 ngôi sao khá sáng. (Hình II.1). Tưởng tượng kéo dài đoạn thẳng nối từ sao β đến sao α ra một khoảng 5 lần đoạn β α thì đến một điểm gần sao Bắc Cực. Sao Bắc Cực là sao α của chòm Tiểu Hùng (con Gấu bé). Người ở Hà Nội luôn thấy sao Bắc Cực nằm trên chân trời khoảng 21°, người ở Thành phố Hồ Chí Minh thì thấy nó thấp hơn, chỉ cách chân trời khoảng 10°.

Hình II.1. Cách xác định sao Bắc Cực

Ở nước ta, chòm Đại Hùng có những tháng ở dưới đường chân trời, trong thời gian ấy ta có thể tìm sao Bắc Cực qua chòm Thiên Hậu. Chòm này có 5 sao sáng tạo thành hình chữ M. Từ sao γ tưởng tượng một đường thẳng vuông góc với đoạn nối sao γ với sao δ và kéo dài một khoảng gấp 7 lần đoạn γ δ sẽ đến gần sao Bắc Cực (hình II.1).

2. Các hệ tọa độ trên thiên cầu

Khi xác định vị trí của một điểm trên mặt cầu, chỉ cần biết 2 toạ độ. Vị trí của một điểm trên mặt đất được xác định bởi vĩ độ φ và kinh độ λ. Vĩ độ φ là khoảng cách góc từ điểm khảo sát đến xích đạo Trái Đất.

Hình II.2. Hệ toạ độ địa lý

Kinh độ λ là góc nhị diện giữa mặt phẳng chứa kinh tuyến gốc và kinh tuyến đi qua điểm đó. Các kinh độ khác nhau có giờ khác nhau nên kinh độ λ thường được tính theo đơn vị thời gian (hình II.2). Để xác định vị trí của một thiên thể trên thiên cầu, ta dùng các hệ toạ độ sau đây:

a) Hệ toạ độ chân trời

Mặt phẳng nằm ngang cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn, gọi là đường chân trời. Đường thẳng đứng đi qua nơi ta đứng cắt thiên cầu tại 2 điểm là thiên đỉnh Z và thiên để Z'. Mặt phẳng thẳng đứng chứa trục vũ trụ PP' và thiên đỉnh Z cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn gọi là vòng kinh tuyến. Nửa vòng kinh tuyến PZP' gọi là kinh tuyến trên, nửa PZ'P' gọi là kinh tuyến dưới. Cung vòng tròn lớn vẽ từ thiên đỉnh Z xuống đường chân trời, bằng 90° và vuông góc với đường chân trời, gọi là vòng thẳng đứng (hình II.3). Kinh tuyến trời cắt đường chân trời tại điểm Bắc B và điểm Nam N. Đường thẳng nằm trong mặt phẳng ngang, qua tâm O và vuông góc với đường BN, cắt đường chân trời tại điểm Đông Đ và điểm Tây T.

Hình II.3. Hệ toạ độ chân trời

Thiên thể S có đường thẳng đứng cắt đường chân trời tại điểm S'. Toạ độ của S trong hệ chân trời là:

– Độ cao h = cung SS' = góc SOS' ($0 < h < 90°$).

Có khi người ta dùng khoảng cách đỉnh z = cung ZS', và như vậy:

$$h + z = 90°$$

– Độ phương A, là cung NS' hay góc NOS', trên đường chân trời, tính theo chiều NTBĐ ($0 < A < 360°$).

Đối với các thiên thể không nhìn thấy bằng mắt thường, ta phải biết độ cao h và độ phương A để hướng ống kính vào vị trí đó mới quan sát được. Tọa độ chân trời h và A phụ thuộc vào nơi quan sát, nên quan sát được toạ độ chân trời của một thiên thể, để công bố ta phải chuyển sang hệ toạ độ không phụ thuộc vào không gian và thời gian quan sát.

b) Hệ toạ độ xích đạo

Mặt phẳng xích đạo Trái Đất vuông góc với trục quay Trái Đất nên cũng vuông góc với trục vũ trụ và sẽ cắt thiên cầu theo một vòng tròn lớn, gọi là xích đạo trời. Xích đạo chia thiên cầu thành hai bán cầu: thiên cầu bắc và thiên cầu nam. Khoảng cách góc từ các thiên cực P, P' đến xích đạo là 90°

Hình II.4. Hệ toạ độ xích đạo1

Vòng tròn lớn đi từ thiên cực bắc P qua thiên thể S đến cực nam P' gọi là vòng giờ. Vị trí của thiên thể trong hệ toạ độ xích đạo 1 là độ xích vĩ δ và góc giờ t.

Độ xích vĩ là khoảng cách góc từ thiên thể đến xích đạo, δ = cung SS' trên vòng giờ. Trong quá trình nhật động, thiên thể vẽ nên vòng nhật động song song với xích đạo trời, nên độ xích vĩ của thiên thể không thay đổi, nghĩa là δ không phụ thuộc vào nơi quan sát và thời điểm quan sát ($0 < \delta < \pm 90°$), dấu + ở bắc, dấu – ở nam xích đạo trời.

Hình II.5. Hệ toạ độ xích đạo 2

Góc giờ t được tạo bởi đường kinh tuyến và vòng giờ t = cung XS' tính trên đường xích đạo, 0 < t < 24h. Góc giờ t của một thiên thể phụ thuộc vào

nơi quan sát và thời điểm quan sát. Để có toạ độ không phụ thuộc vào địa điểm và thời gian quan sát, ta dùng hệ toạ độ xích đạo 2.

Trong hệ toạ độ xích đạo 2, có hai toạ độ là độ xích vĩ δ và độ xích kinh α. Độ xích kinh α là khoảng cách góc từ điểm xuân phân đến giao điểm của vòng giờ đi qua thiên thể với xích đạo trời, tính trên xích đạo trời theo chiều thuận, (ngược chiều nhật động).

Điểm xuân phân γ là điểm mà Mặt Trời đi qua xích đạo trời vào ngày xuân phân, ngày 21 tháng 3 hàng năm.

$$\alpha = \text{cung } \gamma S' = \text{góc } \gamma OS'.$$

$$0 < \alpha < 360^\circ \text{ hay } 0 < \alpha < 24h$$

Điểm xuân phân ở trên thiên cầu như một ngôi sao có $\alpha = 0$, $\delta = 0$, không thay đổi vì nhật động. Trong lịch thiên văn, các danh mục sao, các bản đồ sao, bảng các toạ độ Mặt Trời, Mặt Trăng, các hành tinh, các vệ tinh, các sao chổi, các vệ tinh nhân tạo, các trạm vũ trụ... đều sử dụng toạ độ xích đạo 2 là α và δ. Khi tiến hành quan sát, phải chuyển từ hệ xích đạo sang hệ chân trời.

c) Hệ toạ độ hoàng đạo

Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời, chúng ta sống trên Trái Đất nhìn thấy Mặt Trời dịch chuyển trên bầu trời sao một năm được một vòng. Trung bình mỗi ngày Mặt Trời dịch chuyển một cung gần 1°. Quỹ đạo của Mặt Trời trên thiên cầu là một đường tròn lớn, gọi là hoàng đạo. Hoàng đạo cắt xích đạo trời tại 2 điểm: xuân phân γ và điểm thu phân Ω. Điểm xuân phân γ là điểm Mặt Trời đi qua khi đi từ nam thiên cầu lên bắc thiên cầu. Điểm thu phân Ω là điểm Mặt Trời đi qua khi đi từ bắc thiên cầu xuống nam thiên cầu. Hoàng đạo nghiêng với xích đạo trời một góc $\varepsilon = 23°27'$. Trên thiên cầu có hai điểm cách hoàng đạo 90°, đó là hoàng cực bắc π nằm ở bắc thiên cầu và hoàng cực nam π' nằm ở nam thiên cầu. Hoàng cực π cách thiên cực bắc một góc $\varepsilon = 23°27'$. Hệ hoàng đạo có hai toạ độ:

Hình II.6. *Hệ toạ độ hoàng đạo*

– Hoàng vĩ B, là khoảng cách từ thiên thể đến hoàng đạo, là cung SS' ($0 < B < \pm 90°$). Dấu + đối với thiên thể ở bắc hoàng đạo, dấu – đối với thiên thể ở phía nam.

– Hoàng kinh L tính từ điểm xuân phân theo chiều thuận (ngược chiều nhật động), $0 < L < 360°$.

Hai toạ độ hoàng đạo được sử dụng thuận tiện cho việc theo dõi vị trí các thiên thể trong Hệ Mặt Trời.

3. Liên hệ giữa vĩ độ địa lý và các hệ toạ độ trên thiên cầu

Trên hình II.7 C_BC_N là trục quay của Trái Đất.

XĐ nằm trong mặt phẳng xích đạo của Trái Đất. Tại A, có vĩ độ địa lý φ.

Mặt phẳng chân trời chứa đường bắc nam BN.

Ta có $OC_B // AP$, do đó $AOĐ = BAP$, nghĩa là độ cao của thiên cực bắc P bằng vĩ độ địa lý nơi quan sát: $h_\varphi = \varphi$

Hình II.7. $h_\varphi = \varphi$

Hệ tọa độ xích đạo 2 dùng để thông báo tọa độ các thiên thể, nhưng khi quan sát ta lại phải dùng hệ chân trời.

Như vậy thường xuyên có việc chuyển đổi giữa hai hệ toạ độ này. Để thiết lập các công thức chuyển đổi toạ độ, ta xét tam giác thị sai. Tam giác thị sai là là một tam giác cầu, 3 đỉnh là thiên cực P, thiên đỉnh Z và thiên thể S (hình II.8).

Ba cạnh của tam giác thị sai là 3 cung:

$$PZ = 90° - \varphi$$

$$PS = 90° - \delta$$

$$ZS = 90° - h = z$$

Hình II.8.
Tam giác thị sai

và các góc là: P = t, z = 180° – A. Dùng các hệ thức lượng giác cầu đối với tam giác thị sai, ta thu được công thức chuyển từ hệ xích đạo sang hệ chân trời:

$$\cos Z = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t$$

$$\tan A = \frac{\cos\delta \sin t}{\sin\varphi \cos\delta \cos t - \cos\varphi \sin\delta} \qquad \text{(II.1)}$$

Các công thức chuyển từ hệ chân trời sang hệ xích đạo là:

$$\sin\delta = \sin\varphi \cos Z - \cos\varphi \sin Z \cos A$$

$$\tan t = \frac{\sin Z \sin A}{\sin\varphi \cos Z + \sin\varphi \sin Z \cos A} \qquad \text{(II.2)}$$

Trong thiên văn học, người ta dùng thang thời gian sao, ký hiệu là s. Thời gian sao ở một thời điểm có giá trị bằng góc giờ t_γ của điểm xuân phân ở thời điểm ấy. Vì điểm xuân phân không thể thấy được trên thiên cầu nên muốn xác định góc giờ t_γ của điểm xuân phân ta phải tính qua góc giờ của một thiên thể nếu biết độ xích kinh của thiên thể đó. Trên hình II.9 cho thấy

Hình II.9

$$s = t + \alpha = t_\gamma \qquad \text{(II.3)}$$

Khi biết được góc giờ t, theo công thức trên ta tính được độ xích kinh của thiên thể nếu biết thời gian sao lúc quan sát.

$$\alpha = s - t \qquad \text{(II.4)}$$

4. Quan sát bầu trời sao ở các vĩ độ khác nhau

Ở xích đạo $\varphi = 0$

Trục vũ trụ trùng với đường Bắc – Nam. Sao Bắc Cực gần trùng với điểm Bắc.

Tất cả các sao đều mọc và lặn. Mặt phẳng xích đạo là mặt phẳng thẳng đứng, đi qua các điểm Đông và Tây.

Các vòng nhật động của các thiên thể đều nằm trong mặt phẳng thẳng đứng và vuông góc với đường Bắc – Nam (Hình II.10).

Hình II.10

Ở vĩ độ trung gian $(0 < \varphi < 90°)$

Trục vũ trụ làm với đường Bắc – Nam một góc bằng vĩ độ địa lý. Những thiên thể có xích vĩ $\delta = 0$ mọc đúng điểm Đông, lặn đúng điểm Tây, thời gian mọc bằng thời gian lặn.

Các thiên thể ở bắc thiên cầu có thời gian mọc (trên đường chân trời) lớn hơn thời gian lặn, còn ở nam thiên cầu thì ngược lại (hình II.11). Các sao ở gần thiên cực bắc không lặn, các sao ở gần thiên cực nam không mọc. Quan sát một nơi có vĩ độ φ, điều kiện để một thiên thể có mọc, lặn là: $|\delta| \le (90° - |\varphi|)$.

Hình II.11

Còn các thiên thể thoả mãn điều kiện:

$|\delta| \ge (90° - |\varphi|)$ thì vòng nhật động không cắt đường chân trời, chúng không bao giờ mọc hoặc không bao giờ lặn.

Ở địa cực $(\varphi = 90°)$

Thiên cực trùng với thiên đỉnh, xích đạo trời trùng với đường chân trời. Các vòng nhật động song song với đường chân trời. Đứng ở địa cực chỉ thấy một nửa bầu trời sao, còn một nửa luôn luôn ở dưới đường chân trời, nên các sao không bao giờ mọc (hình II.12). Sau ngày xuân phân 21/3 Mặt Trời lên phía bắc thiên cầu nên Mặt Trời không lặn và mỗi ngày quay một vòng dọc theo đường chân trời với độ cao tăng dần, đến ngày hạ chí 22/6, Mặt Trời có độ cao lớn nhất là 23°27'. Sau đó, độ cao Mặt Trời lại giảm dần cho đến ngày thu phân 23/9, Mặt Trời xuống nam thiên cầu. Như vậy, ở địa cực một năm có 6 tháng là

Hình II. 12.

ngày, 6 tháng là đêm. Khi ở bắc cực là ngày thì ở nam cực là đêm và 6 tháng tiếp theo thì ngược lại.

5. Ảnh hưởng của khí quyển khi quan sát thiên văn

Trái Đất có khí quyển bao quanh, càng lên cao mật độ càng giảm. Như vậy, khí quyển là môi trường có chiết suất n giảm dần theo độ cao. Tia sáng từ thiên thể khi truyền qua khí quyển bị khúc xạ, kết quả là nó bị uốn cong dần. Ánh sáng đi từ thiên thể S đến mắt người quan sát A nhưng do khúc xạ mà người quan sát thấy ảnh của thiên thể ở S' (hình II.13). Như vậy, hiện tượng khúc xạ qua khí quyển đã làm cho khoảng cách thiên đỉnh nhìn thấy bé hơn khoảng cách thiên đỉnh thực, nghĩa là thiên thể được nâng lên cao so với đường chân trời. Góc SAZ là khoảng cách thiên đỉnh thực, góc S'AZ là khoảng cách thiên thể biểu kiến. Hiệu $Z - Z' = \rho$ gọi là độ khúc xạ. Như vậy: $Z = Z' + \rho$. Để tính độ khúc xạ, ta giả thiết rằng khí quyển gồm những lớp mỏng đồng tâm, trong mỗi lớp có chiết suất như nhau. Gọi các lớp 1, 2, 3... m thì chiết suất tương ứng là $n_1 > n_2 > n_3 ... > n_m$.

Hình II.13

Hình II.14

Ký hiệu góc tới các tia sáng trong các lớp $i_1, i_2, i_3 ... i_m$ và góc khúc xạ tương ứng là $r_1, r_2, r_3 ... r_{m-1}$. Một cách gần đúng, ta có thể coi $i_1 \approx r_1$, $i_2 \approx r_2 ...$

Theo định luật khúc xạ, ta có:

$$\frac{\sin i_2}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_2}, \frac{\sin i_3}{\sin i_{21}} = \frac{n_2}{n_3}, ..., \frac{\sin i_m}{\sin i_{m-1}} = \frac{n_{m-1}}{n_m}$$

Từ đó ta rút ra:

$$\frac{\sin i_m}{\sin i_1} = \frac{n_1}{n_m} \qquad \text{(II.5)}$$

Vì n_m là chiết suất của lớp trên cùng của khí quyển, có thể xem bằng 1. Góc tới i_m là khoảng cách thiên đỉnh thực Z của thiên thể S, còn i_m là khoảng cách thiên đỉnh nhìn thấy Z' nên ta có:

$$\frac{\sin Z}{\sin Z'} = n_1 \text{ mà } Z = Z' + \rho .$$

Vậy ta có: $$\frac{\sin(Z' + \rho)}{\sin Z'} = \frac{\sin Z' \cos\rho + \sin\rho \cos Z'}{\sin Z'} = n_1 . \qquad \text{(II.6)}$$

Thực tế quan trắc chứng tỏ rằng khi khoảng cách thiên đỉnh bé hơn 70° thì độ khúc xạ ρ rất bé và ta có thể lấy cosρ = 1, sinρ = ρ (tính bằng radian). Nếu ρ tính bằng giây góc thì sinρ" = ρ"sin1". Ta có:

$$1 + \frac{\rho'' \sin 1''}{\sin Z'} \cos Z' = n_1 \text{ hay } \rho'' = \frac{n_1 - 1}{\sin 1''} \tan Z' . \qquad \text{(II.7)}$$

Ở nhiệt độ 0°C và áp suất 760mmHg thì: ρ = 60",3.tanZ'... ở nhiệt độ t°C và áp suất P thì:

$$\rho = 60''3 . \frac{P}{760} . \frac{273}{273 + t} \tan Z . \qquad \text{(II.8)}$$

Các công thức tính độ khúc xạ trên được dùng khi khoảng cách thiên đỉnh bé hơn 70°. Nếu thiên thể ở gần đường chân trời thì công thức trên không áp dụng được nữa, khi ấy độ khúc xạ biến thiên rất nhanh. Khi thiên thể ở sát đường chân trời thì độ khúc xạ ρ có giá trị tới 35'. Vì vậy, khi Mặt Trời, Mặt Trăng mới mọc hay sắp lặn, mép dưới được nâng cao hơn mép trên tới 6', do đó ta nhìn thấy chúng không hoàn toàn tròn.

Để giảm bớt ảnh hưởng của khí quyển khi quan trắc thiên văn, người ta đặt các kính thiên văn quang học trên các núi cao. Từ khi có các trạm vũ trụ, người ta đưa các thiết bị quan trắc thiên văn lên quỹ đạo để không những thu được ánh sáng nhìn thấy của các thiên thể mà còn thu được các bức xạ khác như tia x, tia tử ngoại... bị khí quyển hấp thụ hay phản xạ nên không thể đi tới mặt đất.

II– HÌNH DẠNG, KÍCH THƯỚC VÀ CẤU TRÚC CỦA TRÁI ĐẤT

1. Hình dạng và kích thước

Trái Đất là hành tinh của Hệ Mặt Trời có quỹ đạo nằm ngoài Thuỷ tinh và Kim tinh. Nói chung các thiên thể có khối lượng và kích thước lớn, quay quanh mình đều có dạng gần với hình cầu. Ảnh chụp từ vũ trụ cho thấy Trái Đất có dạng hình cầu (hình II.15).

Hình II.15

Hình II.16

Để biết bán kính Trái Đất, người ta đo chu vi Trái Đất bằng cách đo độ dài cung 1° của kinh tuyến. Lấy 2 điểm A_1 và A_2 trên cùng một kinh tuyến, có vĩ độ tương ứng là φ_1 và φ_2 (hình II.16). Nếu đo được độ dài cung $A_1 A_2 = l$ thì độ dài cung kinh tuyến 1° bằng $\frac{l}{\varphi_1 - \varphi_2}$ trong đó φ_1 và φ_2 tính bằng đơn vị độ.

Vậy bán kính của Trái Đất bằng:

$$R = \frac{360.l}{2\pi(\varphi_1 - \varphi_2)} \qquad \text{(II.9)}$$

Để đo cung kinh tuyến, người ta dùng phương pháp tam giác đạc. Phương pháp này được tiến hành lần đầu tiên tại Hà Lan năm 1615.

Gần đây các phép đo chính xác cho thấy độ dài cung 1° ở xích đạo là 110,6km, ở địa cực là 111,7km. Điều đó chứng tỏ Trái Đất bị dẹt ở hai cực, nghĩa là nó có dạng elip tròn xoay. Năm 1964, Hội Thiên văn Quốc tế đã ghi nhận các giá trị sau đây về kích thước và hình dạng của Trái Đất:

Bán kính ở xích đạo là: a = 6378,16km.

Bán kính ở địa cực là: b = 6346,78km.

Độ dẹt: $$\varepsilon = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,25} \qquad \text{(II.10)}$$

Do Trái Đất có dạng không phải hình cầu nên trong Thiên văn Trắc địa và Địa Vật lý, người ta phân biệt các vĩ độ sau:

Vĩ độ thiên văn φ là góc giữa mặt phẳng xích đạo và đường dây dọi, $\varphi = \angle AO_1Đ$.

Vĩ độ địa tâm φ' là góc giữa mặt phẳng xích đạo và bán kính vectơ của điểm quan sát đối với tâm Trái Đất, $\varphi' = \angle AOĐ$.

Hình II.17

Vĩ độ trắc địa φ_1 là góc giữa mặt phẳng xích đạo với pháp tuyến của mặt phỏng cầu tại điểm quan sát: $\varphi_1 = \angle AO_2Đ$ (hình II.17).

Bằng quan trắc thiên văn, người ta xác định được vĩ độ thiên văn; bằng phương pháp trắc địa, người ta xác định được vĩ độ trắc địa còn vĩ độ địa tâm được tính theo công thức hình học giải tích.

2. Cấu trúc của Trái Đất

Sử dụng định luật vạn vật hấp dẫn người ta xác định được khối lượng của Trái Đất là: $M = 5,98.10^{24}$kg.

Biết bán kính Trái Đất, chúng ta tính được khối lượng riêng trung bình (mật độ) của Trái Đất là:

$$D = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = 5.520 kg/m^3 \qquad (II.11)$$

Vì khối lượng riêng của lớp đất đá ở bề mặt Trái Đất vào khoảng 2800kg/m^3 nên nhân của Trái Đất phải có mật độ lớn. Việc quan sát sự truyền sóng địa chấn tự nhiên và nhân tạo đã cung cấp những thông tin quan trọng về bản chất và cấu trúc bên trong của Trái Đất.

Các chất lỏng chỉ truyền sóng dọc P và hấp thụ sóng ngang S. Nhưng cả sóng dọc P và sóng ngang S đều có thể truyền qua vật liệu rắn (hình II.18). Ngoài ra, sóng dọc P cũng bị phản xạ ở mặt nhân rắn của Trái Đất.

Hình II.18

Hiện nay, người ta biết rằng Trái Đất gồm một số lớp. Lớp vỏ ngoài cùng có bề dày trung bình 35km, có mật độ 3300kg/m^3. Phía dưới lớp vỏ là lớp manti, một lớp đá ở thể rắn, dày trải rộng tới độ sâu 2900km, có mật độ từ 3400 đến 3500kg/m^3, được cấu tạo chủ yếu bởi silicát $[(mg,Fe)_2SiO_4]$. Nhân của Trái Đất được chia thành hai phần: Nhân ngoài có thể lỏng, dày khoảng 2200km, có mật độ từ 9000kg/m^3 đến12000kg/m^3; Nhân trong ở thể rắn, có bán kính 1300km và có mật độ khoảng 13000kg/m^3.

Nhiệt độ trong lòng Trái Đất tăng theo độ sâu. Ở độ sâu vài trăm kilômét, nhiệt độ tăng nhanh, sau đó tăng chậm dần. Ở nhân Trái Đất, nhiệt độ vào khoảng 3000 – 4000°C.

Áp suất trong lòng Trái Đất cũng tăng theo độ sâu. Theo phương trình cân bằng thuỷ tĩnh, người ta tin rằng, áp suất ở trong nhân

Trái Đất có thể tới $3,7.10^6$atm. Vỏ Trái Đất là đối tượng nghiên cứu của các nhà Địa chất. Ba phần tư diện tích bề mặt Trái Đất được bao phủ bởi các biển và đại dương, là đối tượng nghiên cứu của ngành Hải dương học. Quanh Trái Đất có bầu khí quyển, là áo giáp bảo vệ sự sống trên Trái Đất khỏi bị tác hại bởi các bức xạ nguy hiểm từ vũ trụ, là đối tượng nghiên cứu của ngành Khí tượng, Vật lý khí quyển...

3. Khí quyển

Không khí bao quanh Trái Đất. Thành phần của khí quyển có tới 78,09% là nitơ, 20,95% là ôxy, còn khoảng 1% là các khí hydrô, cacbonic, hêli, nêôn, argôn, kripton, ozon, xenôn... áp suất, nhiệt độ, mật độ của khí quyển thay đổi theo độ cao (hình II.19).

Hình II.19

Nếu xem không khí là khí lý tưởng, áp suất ở độ cao h so với mặt đất có thể tính theo công thức:

$$P(h) = P_o \exp(-\frac{hgm}{kT}) \quad (II.12)$$

Trong đó $g(r) = GM/r^2$ là gia tốc trọng trường ở một điểm cách tâm Trái Đất một khoảng là r, G là hằng số hấp dẫn, M là khối lượng Trái Đất. m là khối lượng phân tử khí, k là hằng số Boltzmann, T là nhiệt độ tuyệt đối.

Không khí rất nhẹ, khối lượng một mol (22,4 lít) vào khoảng 29 gam. Theo ước tính, khối lượng của khí quyển khoảng hơn 500 tỷ tấn. Do tác dụng của lực hấp dẫn Trái Đất mà 9/10 khí quyển được tập trung ở lớp khí quyển gần mặt đất, trong khoảng 16km. Do sự thay đổi các đặc trưng vật lý mà người ta chia khí quyển ra các tầng sau:

Tầng đối lưu (Troposphere):

Tầng đối lưu ở vĩ độ trung bình có bề dày trung bình khoảng 16 - 18km, ở vùng hai cực khoảng 7 – 8km. Trong tầng đối lưu càng lên cao nhiệt độ càng giảm, không khí chuyển động đối lưu theo phương thẳng đứng và phương nằm ngang rất mạnh. Các hiện tượng mưa, gió, tuyết mưa đá, sương mù đều diễn ra trong tầng đối lưu.

Tầng bình lưu (Stratosphere):

Tầng bình lưu chiếm độ cao từ 20 đến 50km, có không khí rất loãng, nước và bụi rất ít. Không khí chuyển động theo phương ngang là chính, do đó máy bay bay trong tầng này rất thích hợp. Ở các tầng cao khí quyển, dưới tác dụng của bức xạ Mặt Trời, các phân tử O_2 phân ly:

$$O_2 + hf \rightarrow O^+ + O + e^- \quad (II.13)$$

Ở đây hf là năng lượng của photon tử ngoại. Các electron tạo thành các tầng điện ly có tác dụng phản xạ các sóng vô tuyến điện dùng trong thông tin liên lạc. Các nguyên tử ôxy tự do sẽ liên kết với các phân tử O_2 tạo thành một tầng ôzôn (O_3). Tầng này có tác dụng hấp thụ tia tử ngoại có hại phát ra từ Mặt Trời. Đầu thập niên 80 của thế kỷ XX, người ta phát hiện lỗ thủng tầng ôzôn ở Nam Cực. Sự suy giảm tầng ôzôn là do con người phát triển công nghiệp, thải vào khí quyển các chất phá huỷ các phân tử O_3, nhất là các phân tử chlorofluorcarbone (CFC). Nếu tầng ôzôn bị suy giảm thì tia tử ngoại

sẽ tác hại đến sự sống, gây ung thư da, làm đục thuỷ tinh thể, làm giảm năng suất trồng trọt và chăn nuôi. Vì vậy, việc loại bỏ các chất phá hoại tầng ôzôn đang được tất cả các nước quan tâm.

Tầng trung gian (Mesosphere):

Tầng trung gian ở trên tầng bình lưu, lên đến độ cao khoảng 100km. Nhiệt độ trong tầng này giảm theo độ cao, nhiệt độ thấp nhất khoảng – 90°C.

Tầng nóng (Thermosphere):

Tầng nóng ở trên tầng trung gian đến độ cao từ 500 đến 600km. Đặc điểm tầng này là càng lên cao, nhiệt độ càng tăng. Ở độ cao 400km nhiệt độ có thể lên đến ba bốn ngàn độ. Ôxy và nitơ trong tầng này bị ion hoá tạo nên tầng điện ly có tác dụng phản xạ sóng điện từ để truyền thông tin đi đến mọi miền trên Trái Đất.

Tầng ngoài (Exosphere):

Tầng ngoài ở trên tầng nóng từ độ cao 700 – 800km đến 3000km. Đây là vùng quá độ giữa khí quyển Trái Đất và khoảng không vũ trụ (nói chung là chân không). Không khí ở đây rất loãng, nhiệt độ rất cao, một số nguyên tử, phân tử chuyển động rất nhanh, có thể thoát khỏi sức hút Trái Đất bay vào khoảng không vũ trụ nên tầng này còn gọi là tầng thoát ly.

4. Thuỷ quyển

Diện tích bề mặt Trái Đất được nước bao phủ tới 71%. Nếu lớp nước này phủ đều trên mặt đất thì thuỷ quyển dày tới 2700m. Khi Trái Đất mới hình thành, bề mặt của nó không hề có nước. Về sau, Trái Đất nguội dần, hơi nước trong khí quyển ngưng đọng thành nước, chảy vào chỗ trũng, tích tụ thành hồ biển nguyên thuỷ. Chính những nơi này, chất sống đầu tiên được nảy mầm. Thuỷ quyển bao gồm các đại dương, biển, hồ, sông, đầm, nước ngầm dưới dạng lỏng và băng hà dưới dạng chất rắn. Theo ước tính, lượng nước trên Trái Đất vào khoảng 1,4 tỷ km^3, trong đó ở dạng lỏng là 97%, phần còn lại ở dạng băng hà và nước trong khí quyển (nhỏ không đáng kể so với hai dạng trên). Nhờ sự hoàn lưu của nước qua khí quyển mới có nước làm thuỷ điện, có các dòng sông để lưu thông, làm cho bề mặt Trái Đất thay đổi thường xuyên, sinh vật sinh sôi nảy nở tạo thành sinh quyển.

5. Từ quyển và các vành đai phóng xạ

Trái Đất là một nam châm khổng lồ.

Hình II.20

Một kim nam châm quay tự do quanh trục thẳng đứng sẽ nằm theo hướng Bắc – Nam nên từ xưa, người ta đã chế tạo la bàn để xác định phương hướng. Christopher Columbus (1451 – 1506) là người phát hiện ra Châu Mỹ cũng là người phát hiện thấy rằng kim la bàn chỉ phương lệch với phương kinh tuyến một góc nào đó. Sau nhiều năm khảo sát từ trường trên đất liền và từ trường trên đại dương cho thấy từ trường Trái Đất giống từ trường một thanh nam châm khổng lồ, đặt lệch với trục quay của Trái Đất một góc khoảng 11° (hình II.20).

Với quy ước cực bắc N của nam châm hướng về phương bắc nên địa từ cực S lại ở gần địa cực bắc, địa từ cực N ở gần địa cực nam. Cường độ từ trường ở hai cực khoảng 10^{-5} tesla, ở xích đạo vào khoảng 5.10^{-6} tesla. Càng lên cao từ trường càng giảm. Tại một điểm trên mặt đất, góc giữa vectơ cảm ứng từ với phương kinh tuyến gọi là độ từ thiên, với phương năm ngang gọi là độ từ khuynh. Nước ta ở gần xích đạo địa từ nên độ từ thiên và độ từ khuynh đều bé. Như vậy, quanh Trái Đất có từ quyển. Gió Mặt Trời là những dòng hạt tích điện được bắn ra từ Mặt Trời, khi bay vào từ quyển Trái Đất ép các đường sức từ quyển làm biến dạng từ quyển (hình II.21).

Hình II.21

Các vành đai phóng xạ

Từ trường Trái Đất là cái bẫy giữ các hạt mang điện, thường là electron, proton và hạt nhân của một số nguyên tố nhẹ, chuyển động với vận tốc tương đối tính (so với vận tốc ánh sáng). Các hạt này có nguồn gốc từ Mặt Trời và một phần nhỏ từ Thiên Hà đi tới.

Từ số liệu quan sát vệ tinh nhân tạo năm 1958, người ta phát hiện có hai vành đai phóng xạ chính còn gọi là các vành đai Van Allen. Vành trong nằm giữa khoảng cách từ 1R đến 2R (R là bán kính Trái Đất), gồm những proton và electron có năng lượng vào khoảng 20 – 500 MeV phân bố giữa các vĩ độ ±30°. Vành đai ngoài nằm trong khoảng từ 3R đến 4R gồm các hạt có năng lượng thấp hơn. Tâm các vành đai nằm trên trục từ trường Trái Đất (hình II.22). Về sau, người ta còn phát hiện ra vành đai thứ ba gồm các hạt electron có năng lượng thấp (khoảng 200eV).

Hình II.22

Các điện tích từ Mặt Trời tới gặp từ trường Trái Đất sẽ chịu tác dụng của lực Lorenxơ: $\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$, trong đó q là điện tích của hạt, v là vận tốc, B là cảm ứng từ và hạt sẽ chuyển động theo đường xoắn ốc bao quanh đường cảm ứng từ. Electron và proton đi theo hai hướng ngược nhau tới 2 điểm đối xứng gương (hình II.23).

Hình II.23

III– CHUYỂN ĐỘNG TỰ QUAY CỦA TRÁI ĐẤT

1. Chứng minh Trái Đất tự quay

Nicholas Copernicus là người đầu tiên giải thích hiện tượng nhật động dựa vào sự chuyển động tự quay của Trái Đất quanh trục của nó. Sau đó, nhiều thí nghiệm đã chứng minh cho sự tự quay của Trái Đất.

a) Con lắc Phu cô (Foucault)

Năm 1851 nhà Vật lý người Pháp Foucault đã tiến hành một thí nghiệm với con lắc nhằm phát hiện sự tự quay Trái Đất. Thí nghiệm này dựa vào tính chất của con lắc có mặt phẳng dao động không đổi phương trong không gian. Foucault đã sử dụng một con lắc dài 67m với quả nặng 28kg và thấy rằng, mặt phẳng dao động của con lắc quay đối với mặt đất với vận tốc góc $\omega = 15^\circ \sin\varphi$. φ là vĩ độ địa lý nơi làm thí nghiệm. Nếu làm thí nghiệm ở địa cực $\varphi = 90^\circ$, $\omega = \frac{15^\circ}{h} = \frac{360^\circ}{24h}$, nghĩa là vận tốc góc của mặt phẳng dao động của con lắc Foucault đúng bằng vận tốc quay của Trái Đất. Khi ở xích đạo $\varphi = 0$ thì $\omega = 0$.

b) Sự lệch về phía đông của các vật rơi tự do

Các vật ở trên mặt đất có độ cao càng lớn thì vận tốc dài của nó

trong chuyển động quanh Trái Đất càng lớn. Vì vậy, khi vật rơi xuống từ một khoảng h thì sẽ lệch về phía đông một đoạn bằng:

$$x = \frac{2\pi h}{3P}\sqrt{\frac{2h}{g}}\cos\varphi \qquad \text{(II.14)}$$

Trong đó P là chu kỳ quay của Trái Đất, g là gia tốc trọng trường, φ là vĩ độ địa lý.

c) Hiệu ứng Coriolis

Khi một vật chuyển động trong một hệ quy chiếu đang quay thì vật còn chịu một lực không phải do một vật nào đó tương tác mà là lực quán tính Coriolis: $F_c = m.[2\vec{\omega} \wedge \vec{v}]$, ở đây m là khối lượng của vật, $\vec{\omega}$ là vận tốc góc của hệ quy chiếu, $\vec{v}$ là vận tốc của vật trong hệ quy chiếu ấy.

Trái Đất là một hệ đang quay. Mọi vật chuyển động trên Trái Đất đều chịu tác dụng của lực Coriolis. Đường tàu hoả, các dòng sông theo phương kinh tuyến thì có một bên bị bào mòn nhiều hơn. Các luồng gió, các dòng hải lưu cũng bị lực Coriolis làm đổi hướng. Khi phóng tên lửa theo hướng bắc – nam cũng phải tính đến ảnh hưởng của lực Coriolis.

2. Biến thiên của trục quay Trái Đất

Trái Đất có mômen quán tính là I và khi nó quay quanh trục với vận tốc góc $\vec{\omega}$ thì nó có mômen động lượng là $I\vec{\omega}$. Khi xem Trái Đất là một hệ cô lập thì $I\vec{\omega}$ = const. Vectơ $\vec{\omega}$ theo phương của trục quay nên nên phương của trục Trái Đất không đổi. Trên thực tế, một số hiện tượng đã làm cho trục Trái Đất thay đổi chậm và rất bé.

a) Hiện tượng tiến động

Vì Trái Đất có dạng phỏng cầu nên lực tác dụng của Mặt Trời lên nó không thể coi như tác dụng lên chất điểm đặt tại tâm Trái Đất. Tại điểm A, lực tác dụng đó là F_1, tại B lực tác dụng đó là F_2. Vì A gần Mặt Trời hơn B nên $F_1 > F_2$ và kết quả là hợp lực của chúng có xu

Hình II.24

hướng làm quay mặt phẳng hoàng đạo trùng với mặt phẳng xích đạo, song hiện tượng trên không xảy ra vì Trái Đất đang quay quanh mình nó. Hiện tượng này giống sự tiến động của con quay trong cơ học.

Kết quả là trục Trái Đất CC' đảo quanh pháp tuyến Oπ của mặt phẳng hoàng đạo và vẽ nên một mặt nón có góc ở đỉnh bằng 46°53'.

Hiện tượng tiến động của Trái Đất được Hipparchus phát hiện từ thế kỷ thứ II trước Công nguyên.

Do tiến động nên điểm xuân phân dịch chuyển trên hoàng đạo mỗi năm một cung 50"37 và thiên cực bắc di chuyển trên nền trời quanh hoàng cực theo một đường tròn có bán kính góc 23°27' với chu kỳ khoảng 26000 năm. Hiện nay, thiên cực bắc nằm cách sao Bắc Cực (sao α chòm Tiểu Hùng) chưa đầy 1°.

Trong tương lai, khoảng 13000 năm sau sao Chức nữ (sao α chòm Thiên Cầm) sẽ là sao Bắc Cực (hình II.25). Mặt Trăng, các hành tinh cũng gây nên hiện tượng tiến động trong chuyển động của Trái Đất nhưng rất bé, bằng khoảng 2% tiến động gây nên bởi Mặt Trời.

Hình II.25

b) Hiện tượng chương động

Ngoài tiến động, trục Trái Đất còn có một chuyển động nhiễu loạn bé gọi là chương động. Trong đó dao động đáng kể nhất có chu kỳ 18,6 năm. Kết quả là cực vũ trụ thực chuyển động quanh cực trung bình theo một elip với a = 18"42 và b = 13"72.

Hiện tượng chương động được James Bradley phát hiện năm 1747. Hiện tượng tiến động và chương động làm cho cực vũ trụ biến thiên liên tục theo thời gian.

Do đó, tọa độ α,δ của các sao cũng thay đổi. Trong danh mục các sao hay trong lịch thiên văn, tọa độ các sao được cho tại các thời điểm như 1900, 1950, 2000... Khi sử dụng toạ độ các sao vào các phép đo thiên văn chính xác, ta phải tính đến các số hiệu chỉnh do tiến động và chương động đối với thời điểm quan sát.

Hình II.26

Do tiến động và chương động, thiên cực bắc P và thiên cực nam P' dịch chuyển trên thiên cầu giữa các chòm sao theo một đường cong uốn khúc gần với dạng hình sin (hình II.26).

b) Chuyển động của các cực Trái Đất

Hình II.27

Từ cuối thế kỷ XIX, các phép đo vĩ độ chính xác cho thấy vĩ độ địa lý tại một nơi thay đổi có tính tuần hoàn với biên độ khoảng 0"3. Vào đầu thế kỷ XX một số trạm quan trắc vĩ độ được thành lập trên cùng một vĩ tuyến +39°08'. Kết quả quan trắc nhiều năm cho thấy các cực của Trái Đất chuyển động trong một miền có độ rộng cỡ 30m, nên vĩ độ và kinh độ đều thay đổi. Hàng tháng, cơ quan quốc tế nghiên cứu sự quay của Trái Đất (IERS) dựa vào số liệu quan trắc của các đài trên thế giới để xác định và công bố tọa độ trung bình của cực Trái Đất.

Từ đó ta biết được tọa độ trung bình tại một nơi φ_o, λ_o và tọa độ tức thời φ, λ có mối liên hệ:

$$\begin{aligned} \varphi_o &= \varphi - (x\cos\lambda_o + y\sin\lambda_o) \\ \lambda_o &= \lambda + (x\sin\lambda_o + y\cos\lambda_o)\tan\varphi_o \end{aligned} \qquad \text{(II.15)}$$

Các đại lượng x, y được công bố trong thông báo thường kỳ của IERS.

IV– CÁC THANG THỜI GIAN

1. Ngày sao và thời gian sao

Ngày sao là chu kỳ quay của Trái Đất đối với các sao, đúng bằng chu kỳ nhật động của các sao. Điểm xuân phân là một điểm xác định trên thiên cầu giống như một ngôi sao. Điểm xuân phân được chọn để tính thời gian sao.

Ngày sao là khoảng thời gian giữa 2 lần liên tiếp điểm xuân phân qua kinh tuyến trên (lúc 0h sao) tại một nơi quan sát.

Do nhật động góc giờ t của điểm xuân phân tăng dần một cách đều đặn. Khi điểm xuân phân nhật động được một vòng, tức là trở lại kinh tuyến trên thì một ngày sao đã trôi qua. Vậy giờ sao trong ngày tại một nơi có trị số bằng góc giờ của điểm xuân phân lúc ấy tại nơi đó.

1 ngày sao = 24 giờ sao = 24.60 giờ sao = 24.60.60 giây sao.

Do điểm xuân phân không quan sát được trên thiên cầu nên trong thực tế ta xác định giờ sao qua một thiên thể nào đó. Giờ sao = độ xích kinh + góc giờ của thiên thể: $S = \alpha + t$, trong đó α là độ xích kinh của sao. Khi đi qua kinh tuyến trên thì $t = 0$ và $S = \alpha$.

Như vậy, giờ sao tại một nơi vào một thời điểm nào đó có trị số bằng xích kinh của ngôi sao đi qua kinh tuyến trên tại nơi đó đúng vào thời điểm ấy. Ngày sao được sử dụng chủ yếu trong thiên văn.

2. Ngày Mặt Trời và thời gian Mặt Trời

Trong mọi hoạt động của đời sống đều liên quan đến vị trí của Mặt Trời trên thiên cầu nên trong sinh hoạt ta dùng thang thời gian Mặt Trời.

Ngày Mặt Trời thực là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp Mặt Trời đi qua kinh tuyến trên tại một nơi, bắt đầu 0 giờ khi nó đi qua kinh tuyến dưới.

Gọi t_o là góc giờ của Mặt Trời thực thì thời gian Mặt Trời thực là:

$$T_o = t_o + 12h. \quad (II.16)$$

Ngày Mặt Trời thực không đều vì hai nguyên nhân:

– Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip do đó vận tốc của nó trên quỹ đạo không đều nên hàng ngày ta thấy Mặt Trời chuyển dịch trên hoàng đạo những cung không hoàn toàn bằng nhau.

Hình II.28

– Vì hoàng đạo nghiêng với xích đạo 1 góc 23°27' nên một cung dịch chuyển của Mặt Trời trên hoàng đạo có vết chiếu của nó trên xích đạo là không như nhau. Cụ thể là vết chiếu của một cung hoàng đạo trên xích đạo tại các điểm phân (xuân phân và thu phân, hình II. 28.a) bé hơn tại các điểm chí (hạ chí và đông chí) (hình II.28.b).

Thực tế không thể chế tạo đồng hồ chạy theo giờ Mặt Trời thực, nên trong đời sống người ta dùng thời gian Mặt Trời trung bình.

Ngày Mặt Trời trung bình bằng độ dài bình quân của tất cả các ngày Mặt Trời thực trong một năm.

Hiệu số giữa giờ ngày Mặt Trời trung bình T_m và giờ ngày Mặt Trời thực T_0 tại một thời điểm nào đó được gọi là phương trình thời gian hay thời sai:

$$T_m - T_0 = \eta \quad (II.17)$$

Giá trị của phương trình thời gian η hàng ngày được in trong các lịch thiên văn hàng năm. Như vậy, bằng quan sát Mặt Trời ta biết được giờ Mặt Trời thực, hiệu chỉnh giá trị của η tại thời điểm quan sát, ta sẽ được giờ Mặt Trời trung bình T_m.

Đồ thị biểu diễn phương trình thời gian trong một năm là đường liền nét trên hình II.29.

Hình II.29. Phương trình thời gian

Đó là đường tổng hợp hai đường cong hình sin, đường thứ nhất có chu kỳ một năm biểu thị nguyên nhân dịch chuyển không đều của Mặt Trời trên hoàng đạo; đường thứ hai có chu kỳ nửa năm, biểu thị nguyên nhân Mặt Trời dịch chuyển trên hoàng đạo nghiêng với xích đạo. Phương trình thời gian có giá trị bằng không vào 4 ngày trong một năm và đạt các giá trị cực đại vào tháng II (η=14ph), và tháng XI (η=16ph) hàng năm.

Trong một năm có 365 ngày Mặt Trời trung bình và có 366 ngày sao vì mỗi ngày Mặt Trời di chuyển giữa các sao một cung gần 1° nên trong một năm Mặt Trời còn di chuyển giữa các sao 1 vòng trên thiên cầu.

Như vậy, độ dài của ngày, giờ, phút, giây Mặt Trời trung bình dài hơn ngày, giờ, phút, giây sao. Do đó, trị số tính theo thời gian sao lớn hơn trị số tính theo thời gian Mặt Trời. Cụ thể là:

Một ngày Mặt Trời trung bình dài hơn một ngày sao là 3ph56s555.

Một giờ Mặt Trời trung bình dài hơn một giờ sao là 9s856.

Trong thực hành thiên văn, ta phải chuyển đổi giữa hai thang thời gian này.

3. Các loại giờ thường dùng

a) Giờ địa phương và độ kinh

Giờ được xác định cho một nơi (có độ kinh xác định) gọi là giờ địa phương tại nơi đó. Trên Trái Đất, góc giờ của Mặt Trời phụ thuộc vào độ kinh địa lý tại một nơi nhất định mà không phụ thuộc vào độ vĩ địa lý.

Tại một thời điểm, hiệu giờ địa phương của hai nơi bằng hiệu độ kinh của hai nơi đó.

Ta có $$\lambda_1 - \lambda_2 = S_1 - S_2 = T_{01} - T_{02} = T_{m1} - T_{m2} \qquad \text{(II.18)}$$

Ở đây, S là thời gian sao, T_o là thời gian Mặt Trời thực, T_m là thời gian Mặt Trời trung bình, λ là độ kinh. Giờ địa phương chỉ có ý nghĩa trong quan trắc thiên văn.

b) Giờ múi và giờ quốc tế

Bề mặt Trái Đất được chia thành 24 múi giới hạn bởi 24 kinh tuyến nằm cách nhau 15° hay 1 giờ. Các địa phương nằm trong một múi dùng chung một giờ. Giờ múi là giờ trung bình địa phương của kinh tuyến chính giữa múi đó. Các múi được đánh số từ 1 đến 23, múi số 0 có kinh tuyến gốc, đi qua đài Thiên văn Greenwich.

Hình II.30. *Các múi giờ*

Năm 1884 Hội Đo lường Quốc tế đã lấy giờ múi số không làm giờ chung và gọi là giờ quốc tế T_0, hay giờ GMT (Greenwich Mean Time), nghĩa là giờ trung bình Greenwich (hình II. 30). Các múi tiếp theo được đánh số theo chiều tự quay của Trái Đất. Như vậy, giờ múi $T_M = T_0 + M$, ở đây M là số múi. Việt Nam ở múi số 7. Trên thực tế, đường ranh giới giữa các múi còn phụ thuộc vào đường biên giới của từng quốc gia.

c) Đường đổi ngày

Đoàn thám hiểm Magellan đi vòng quanh Trái Đất xuất phát từ Tây Ban Nha năm 1519 theo hướng từ đông sang tây. Đến năm 1521 khi trở về nhà, theo nhật ký ghi chép của đoàn thì thấy chậm hơn lịch ở

nhà một ngày. Đó là do đoàn thám hiểm đi theo chiều nhật động, nên khi đi một vòng quanh Trái Đất, số lần mọc và lặn của Mặt Trời giảm một lần, nên chậm một ngày. Ngày nay, đi vòng quanh Trái Đất bằng máy bay hiện đại, khi đi qua mỗi múi giờ về phía tây vặn đồng hồ lùi một giờ, về phía đông vặn tăng một giờ, khi đi hết một vòng quanh Trái Đất đồng hồ bị lùi hoặc tăng một ngày. Để tránh sự nhầm lẫn này, người ta đã quy định đường đổi ngày là đường dọc theo kinh tuyến 180° đi giữa Thái Bình Dương. Khi người du hành đi qua đường đổi ngày từ Đông sang Tây thì phải thêm ngày lịch của mình một ngày. Nếu đi theo chiều từ Tây sang Đông thì phải giảm đi một ngày. Thực tế đường đổi ngày có một số đoạn phải uốn khúc vì để tránh hiện tượng một nước ở trên đất liền và ở trên đảo lại có ngày khác nhau (hình II.30).

V– CHUYỂN ĐỘNG CỦA TRÁI ĐẤT QUANH MẶT TRỜI VÀ CÁC HỆ QUẢ

1. Chứng minh Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời

Trái Đất vừa chuyển động quanh Mặt Trời vừa tự quay quanh mình nó. Mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất cắt thiên cầu theo một đường tròn lớn gọi là Hoàng đạo. Đứng trên Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời mà quan sát các sao ở gần thì phương nhìn các sao ấy thay đổi rõ rệt, cụ thể là mỗi sao di chuyển trên thiên cầu trong một năm theo một đường elip nào đó (hình II.31). Elip được gọi là elip thị sai hàng năm. Hiện tượng này đã được Copernicus dự đoán trước đối các sao ở gần. Bán trục lớn của elip thị sai càng bé nếu sao càng xa Trái Đất (từ đó ta có thể xác định khoảng cách đến các sao qua elip thị sai của chúng).

Hình II.31

Đối với các sao nằm trên mặt phẳng Hoàng đạo thì elip thị sai có dạng một cung tròn, còn các sao nằm ở hoàng cực thì elip thị sai là đường tròn. Thị sai của các sao ở gần chứng tỏ Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời.

Hình II.32

Hiện tượng thứ hai chứng tỏ Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời là tinh sai. Giả sử K là tâm của thị kính (nơi đặt mắt quan sát) và O là tâm của vật kính của một kính thiên văn. Người quan sát cùng với kính di chuyển trong không gian theo phương KA với vận tốc v. v là vận tốc chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời. Ánh sáng truyền từ sao S với vận tốc c đến vật kính tại O. Từ O đến K ánh sáng phải truyền mất một khoảng thời gian t (OK = ct). Như vậy, ảnh của sao sẽ nằm tại K_1 với KK_1 = vt. Để thu được ảnh của sao nằm đúng tâm của thị kính, người ta phải hướng ống kính nghiêng theo phương K_oO ($K_oK = KK_1$). Như vậy phương của ống kính K_oS' tạo với phương thực KS một góc σ được gọi là góc chuyển tinh sai của sao S.

Từ hình II. 32, ta có:

$$\sin\sigma = \frac{v}{c}\sin\alpha, \qquad (II.19)$$

trong đó α là góc giữa phương quan sát thiên thể và phương chuyển động của Trái Đất KA. A gọi là điểm tới (điểm apec). Vì σ bé nên có thể viết

$$\sigma = 206.265\frac{v}{c}\sin\alpha \qquad (II.20)$$

Biết vận tốc của chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời là v = 29,78km/s, vận tốc ánh sáng là c = 299729km/s, ta tính được tinh sai năm là:

$$\sigma = 20''50.\sin\alpha \qquad (II.21)$$

Vì điểm tới A nằm trên Hoàng đạo và dịch chuyển cùng với Trái Đất nên các ngôi sao ở gần Hoàng cực chuyển động trên các vòng tròn có tâm ở vị trí thực của chúng. Các ngôi sao khác vẽ nên những elip tinh sai với bán trục lớn là 20"50. Các thiên thể nằm trên mặt phẳng hoàng đạo có elip tinh sai là là một cung 20"50 x 2 = 41".

Ngoài ra do Trái Đất chuyển động quanh trục nên ngoài tinh sai năm còn có tinh sai ngày. Tinh sai ngày phụ thuộc vào vĩ độ địa lý và bé hơn tinh sai năm rất nhiều.

2. Chuyển động có chu kỳ của Trái Đất quanh Mặt Trời

Từ thời thượng cổ con người đã thấy rằng: Mặt Trời di chuyển trên Hoàng đạo và đi qua một số chòm sao trong năm.

Tháng	Chòm sao Mặt Trời đi qua	Kí hiệu	Tháng	Chòm sao Mặt Trời đi qua	Kí hiệu
1	Con Hươu (Ma kết)	♑	7	Con Tôm (Cự giải)	♋
2	Cái bình (Báu bình)	♒	8	Sư tử	♌
3	Song ngư	♓	9	Trinh nữ	♍
4	Con Dê (Bạch dương)	♈	10	Cái cân (Thiên bình)	♎
5	Con Trâu (Kim ngưu)	♉	11	Thần nông	♏*
6	Song tử	♊	12	Nhân mã	♐

*/. *(Ký hiệu chòm Scorpius (con Bò cạp) ở nước ta chòm này được phân thành 2 chòm: Thần nông và Con vịt).*

Ở Á Đông, người ta chia Hoàng đạo ra 12 cung, mỗi cung 30° tương ứng với 12 chòm sao trên Hoàng đạo. Mỗi tháng, Mặt Trời đi qua một chòm sao.

Dựa vào vị trí Mặt Trời đối với các chòm sao Hoàng đới, ta có thể xác định gần đúng ngày tháng trong năm. Ví dụ tháng 3 Mặt Trời nằm trong chòm Song ngư nên không nhìn thấy được chòm này nhưng khi Mặt Trời lặn thì ta thấy phía Đông chòm Trinh Nữ bắt đầu mọc. Mỗi khi nhận biết được các chòm sao Hoàng đới thì ta có thể xác định giờ gần đúng trong đêm, chẳng hạn vào tháng 3 chòm Trinh Nữ lên cao khoảng 30° thì Mặt Trời đã lặn được khoảng 2 giờ.

Chu kỳ chuyển động của Mặt Trời trên Hoàng đạo chính là chu kỳ chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời bằng 365,26 ngày.

3. Vị trí của Mặt Trời trên thiên cầu bốn mùa

Các kết quả quan sát cho thấy hướng của các thiên cực thay đổi rất chậm. Bởi vậy, trong suốt năm, trục quay của Trái Đất không đổi phương trong không gian. Do đó, hàng năm, độ xích vĩ δ của Mặt Trời biến thiên từ – 23° 27' đến +23°27'. Trục quay của Trái Đất làm với mặt phẳng hoàng đạo 1 góc bằng 90° – 23°27' = 66°33'.

Trên hình II. 33 D_1 và D_2 là hai vị trí Trái Đất nằm đối tâm với Mặt Trời vào ngày hạ chí và đông chí.

Hình II.33

Mặt phẳng OD_1D_2 là mặt phẳng hoàng đạo. Khi Trái Đất ở vị trí D_1, Mặt Trời ở nửa thiên cầu bắc, nằm trên mặt phẳng xích đạo một góc 23°27' ((δ = 23°27'). Khi Trái Đất ở vị trí D_2, Mặt Trời ở nửa thiên cầu nam, nằm dưới mặt phẳng xích đạo một góc –23°27' ((δ = –23°27'). Hàng năm vào ngày 21 tháng 3 Mặt Trời đi qua điểm xuân phân γ từ nam thiên cầu lên bắc thiên cầu (α = 0). Ngày 23 tháng 9 Mặt Trời đi qua điểm thu phân (α = 12h). Ngày 22 tháng 12 Mặt Trời đi qua điểm đông chí (α = 18h). Ngày 21 tháng 3 của năm tiếp theo Mặt Trời lại đi qua điểm xuân phân γ (hình II.34). Hàng năm, Mặt Trời chuyển động biểu kiến trên Hoàng đạo, độ xích kinh α biến thiên từ 0 đến 24h. Độ xích vĩ δ biến thiên từ –23°27' đến 23°27'. Như vậy, điểm mọc, điểm lặn cũng như thời gian ở trên chân trời và thời gian lặn ở dưới đường chân trời hàng ngày của nó cũng thay đổi với chu kỳ một năm (hình II.34).

Hình II.34

Vị trí	Ngày	δ	α	Độ dài ngày so với đêm
Xuân phân	21–III	0	0	Ngày = Đêm
Hạ chí	22–VI	+23°27'	6h	Ngày dài nhất trong năm
Thu phân	23–IX	0	12h	Ngày = Đêm
Đông chí	22–XII	–23°27'	18h	Ngày ngắn nhất trong năm

Ta thấy rằng vào các ngày xuân phân và thu phân, Mặt Trời nằm trên xích đạo trời, ngày và đêm dài bằng nhau, thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền đến hai nửa địa cầu như nhau. Khi Mặt Trời ở

nửa thiên cầu bắc ($\delta > 0$), ngày dài hơn đêm và thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền đến nửa địa cầu bắc lớn hơn nửa địa cầu nam và cực đại vào ngày hạ chí. Ngược lại khi Mặt Trời ở nửa thiên cầu nam ($\delta < 0$), ngày ngắn hơn đêm và thông lượng bức xạ của Mặt Trời truyền đến nửa địa cầu bắc bé hơn nửa địa cầu nam và cực tiểu vào ngày đông chí. Chính vì vậy mà một năm có 4 mùa: xuân, hạ, thu, đông. Ở phương tây, 4 ngày trong bảng trên là ngày bắt đầu của 4 mùa, còn ở Á Đông, 4 ngày ấy là ngày chính giữa mùa.

Chú ý rằng, ở Nam địa cầu thì 4 mùa diễn ra theo thứ tự ngược lại, chẳng hạn khi ở Bắc bán cầu là mùa hạ thì ở Nam bán cầu là mùa đông.

Như vậy, nguyên nhân có biến đổi mùa trên Trái Đất là do Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời có trục quay không thẳng góc với mặt phẳng quỹ đạo. Chu kỳ biến đổi mùa bằng chu kỳ chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời, là chu kỳ chuyển động biểu kiến của Mặt Trời qua điểm xuân phân và thường gọi là năm xuân phân, dài bằng 365, 2422 ngày.

4. Dương lịch

Lịch là hệ thống tính khoảng thời gian dài. Đã có nhiều loại lịch khác nhau, nhưng ưu việt nhất là dương lịch. Cơ sở để tính năm dương lịch là độ dài năm xuân phân (chu kỳ 4 mùa). Vì độ dài năm xuân phân không phải là số nguyên (365,2422 ngày), mà năm lịch phải chứa một số nguyên ngày nên năm lịch hoặc có 365 hoặc 366 ngày và bình quân độ dài của năm lịch phải có trị số gần nhất với độ dài của năm xuân phân.

Dương lịch cũ (lịch Julian) được xây dựng vào năm 46 trước công nguyên. Mỗi năm có 365 ngày và cứ 4 năm thì có một năm nhuận 366 ngày. Như vậy, trung bình mỗi năm dương lịch cũ dài 365,25 ngày, sai so với năm xuân phân 0,0078 ngày. Cứ 400 năm sai 3,12 ngày. Đến năm 1582 năm dương lịch cũ sai 10 ngày. Việc cải cách lịch cũ thành lịch mới đã được tiến hành bởi Giáo hoàng Gregory 18. Sau ngày 4/10/1582 được lấy là ngày 15/10/1582. Cứ 400 năm bỏ bớt 3 ngày nhuận. Các năm trọn thế kỷ mà số thế kỷ không chia hết cho 4 sẽ không phải là năm nhuận. Các năm 1700, 1800, 1900, 2100, 2200 không phải là năm nhuận, còn các năm 1600, 2000, 2400 là năm nhuận có 366 ngày. Lịch này gọi là dương lịch mới. Theo dương lịch mới thì năm lịch còn sai với năm xuân phân 0,0003 ngày, và cứ 3300 năm thì sai một ngày.

VI– MẶT TRĂNG LÀ VỆ TINH TỰ NHIÊN CỦA TRÁI ĐẤT

1. Đặc điểm cấu tạo của Mặt Trăng

a) Kích thước, hình dạng và bề mặt Mặt Trăng

Mặt Trăng có bán kính 1738km, khoảng cách trung bình đến Trái Đất là 384400km, tự quay chậm do đó không phình ra ở xích đạo nên có dạng hình cầu, có khối lượng $7,35.10^{22}$kg, khối lượng riêng trung bình là 3,34kg/dm^3.

Qua kính thiên văn, ta thấy nhiều chi tiết trên Mặt Trăng (các dãy núi cao xen lẫn các vùng trũng được gọi là biển nhưng không có nước). Các núi và biển đều đã được đặt tên như biển Yên lặng, biển Mưa, biển Bão, biển Sáng... và các núi Capcadơ, Anphơ, Antai... Nét nổi bật trên Mặt Trăng là có nhiều miệng núi lửa. Miệng núi lửa lớn nhất với đường kính 100km. Có miệng núi lửa do núi lửa hoạt động đã tắt, nhưng phần lớn các miệng núi lửa do thiên thạch đập vào nên có các miệng núi lửa chồng lên nhau (hình II.35).

Hình II.35. Ảnh chụp Mặt Trăng

b) Mặt Trăng không có khí quyển

Vận tốc trung bình của các phân tử khí là

$$\overline{v}_{tb} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \qquad \text{(II.22)}$$

Ở đây T là nhiệt độ tuyệt đối của chất khí, m là khối lượng của phân tử khí, k là hằng số Boltzmann. Điều kiện để một thiên thể có khí quyển là: $\overline{v}_{tb} < 0,2V_{II}$, ở đây v_{II} là vận tốc vũ trụ cấp 2 (vận tốc thoát) của thiên thể đó.

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad \text{(II.23)}$$

Đối với Mặt Trăng thì v_{II} = 2,38km/s. Nhiệt độ ban ngày trên bề mặt Mặt Trăng là T = 400K, do đó nếu trên Mặt Trăng có hơi nước thì vận tốc trung bình của phân tử nước là:

$$\overline{v}_{tb} = \sqrt{\frac{3(1,38.10^{-23}).400}{18.(1,7.10^{-27})}} = 740\frac{m}{s} = 0,74\frac{km}{s} \qquad \text{(II.24)}$$

Ta thấy trên Mặt Trăng không thoả mãn điều kiện: $\overline{v}_{tb} < 0,2V_{II}$ nên Mặt Trăng không có khí quyển. Nếu trên Mặt Trăng có hơi nước thì hơi nước sẽ thoát hết vào không gian vũ trụ.

c) Thám hiểm Mặt Trăng

Từ nhiều thế kỷ trước con người đã có ước vọng đi lên Mặt Trăng. Điều đó được thể hiện qua các truyền thuyết hay chuyện khoa học viễn tưởng.

Sau khi Nga phóng thành công vệ tinh nhân tạo đầu tiên, vào ngày 4/10/1957, chương trình thám hiểm Mặt Trăng bằng cách phóng các trạm tự động "Luna" bắt đầu. Luna 2 là trạm tự động đầu tiên hạ cánh xuống bề mặt Mặt Trăng, vào ngày 14/9/1959. Luna 3 đã bay vòng quanh phía sau Mặt Trăng, chụp ảnh phía sau Mặt Trăng (phía mà trên Trái Đất không thấy được) và lần đầu tiên công bố bản đồ phía sau Mặt Trăng vào ngày 14/10/1959. Sau khi Nga phóng tàu vũ trụ Phương Đông 1 đưa I. Gagarin bay vào vũ trụ thì Mỹ đã đề ra dự án Apôlô chinh phục Mặt Trăng. Ngày 21/7/1969, các nhà du hành vũ trụ Mỹ là N. Amstrong và E. Aldrin đã đi bộ trên bề mặt Mặt Trăng. Dự án Apôlô, sau khi đã đưa được 12 phi hành gia đi lên Mặt Trăng, thì kết thúc. Trung Quốc có tàu vũ trụ "Thần Châu V" phóng thành công ngày 15/10/2003 và có kế hoạch đưa người lên Mặt Trăng vào thập niên 30 của thế kỷ XXI. Cộng đồng châu Âu cũng có kế hoạch tương tự.

2. Mặt Trăng quay quanh Trái Đất

Mặt Trăng là một vệ tinh của Trái Đất, phản xạ ánh sáng từ Mặt Trời xuống Trái Đất. Tùy theo vị trí tương đối giữa Trái Đất, Mặt Trời và Mặt Trăng mà ta thấy phần được dọi sáng của Mặt Trăng nhiều hay ít (tròn hay khuyết).

Bán kính Mặt Trăng là 1737km, khối lượng bé hơn khối lượng Trái Đất 81,3 lần, gia tốc trọng trường là 1,63m/s^2. Mặt Trăng không có khí quyển, nên nhiệt độ ban ngày lên đến 130°C và ban đêm xuống âm 170°C.

Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất trong mặt phẳng bạch đạo theo quỹ đạo elip với tâm sai bé e = 0,055. Bạch đạo nghiêng với mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất một góc 5°9'. Chu kỳ chuyển động của Mặt Trăng đối với Trái Đất là 27,32 ngày. Chuyển động của Mặt Trăng rất phức tạp do các lực nhiễu loạn khá lớn. Các lực nhiễu loạn đã làm cho các thông số quỹ đạo của Mặt Trăng không ngừng biến thiên, chẳng hạn như độ nghiêng giữa giữa bạch đạo và hoàng đạo dao động trong khoảng 4°58' đến 5°20'. Đứng trên Trái Đất, ta thấy Mặt Trăng dịch chuyển trên thiên cầu có chu kỳ là 27,32 ngày, còn Mặt Trời có chu kỳ là 365,24 ngày. Chu kỳ giao hội của Mặt Trăng, Mặt Trời trên thiên cầu được gọi là tháng giao hội T_{gh}. Ta có:

$$\frac{360^\circ}{T_{gh}} = \frac{360^\circ}{27,32} - \frac{360^\circ}{365,24} \qquad \text{(II.25)}$$

Từ đây ta tính được T_{gh} = 29,53 ngày.

Trong ngày giao hội sẽ không nhìn thấy Trăng vì Mặt Trăng nằm giữa Trái Đất và Mặt Trời. Đó là ngày đầu tháng âm lịch.

3. Âm lịch và âm dương lịch

Âm lịch lấy chu kỳ tuần trăng hay tháng giao hội bằng 29,53 ngày làm cơ sở cho tháng. Vì tháng lịch phải chứa một số nguyên ngày, nên tháng âm lịch có 29 hoặc 30 ngày. Một năm có 12 tháng nên năm âm lịch có 354 hoặc 355 ngày. Như vậy, năm âm lịch ngắn hơn năm xuân phân trên 10 ngày, không phù hợp với chu kỳ thời tiết.

Về sau người ta đã xây dựng âm dương lịch dựa vào hai chu kỳ: Tháng âm lịch và năm xuân phân và đặt ra năm nhuận theo quy tắc: Cứ 19 năm có 7 năm nhuận. Năm nhuận có 13 tháng. Như vậy, 19 năm xuân phân có 365, 2422 ngày/năm x 19 năm = 6939,60 ngày. Theo âm dương lịch thì trong 19 năm có (19 x 12) + 7 = 235 tháng = 29,53

ngày/tháng x 235 tháng = 6939,55 ngày. Như vậy, 19 năm âm dương lịch có số ngày tương đương với số ngày của 19 năm dương lịch. Một số nước như Việt Nam dùng âm dương lịch trong việc tổ chức các lễ hội truyền thống của dân tộc mà ta dần quen gọi là âm lịch.

4. Sự tự quay của Mặt Trăng

Đứng trên Trái Đất quan sát Mặt Trăng, ta chỉ thấy một nửa bề mặt Mặt Trăng, còn nửa sau không bao giờ nhìn thấy. (Nửa sau bề mặt Mặt Trăng lần đầu tiên được chụp ảnh tự động từ trạm vũ trụ "Mặt Trăng 3" của Nga phóng ngày 4 tháng 10 năm 1959). Đó là do chu kỳ tự quay của Mặt Trăng đúng bằng chu kỳ chuyển động của Mặt Trăng quanh Trái Đất và quay cùng chiều với nhau. Như vậy, chu kỳ tự quay của Mặt Trăng bằng một tháng giao hội. Ở trên Mặt Trăng, ngày sẽ dài bằng một tháng giao hội trên mặt đất, nghĩa là một ngày trên Mặt Trăng bằng 29,53 ngày trên Trái Đất.

Hình II.36

Trục quay của Mặt Trăng không vuông góc với mặt phẳng quỹ đạo của nó, mà nghiêng với pháp tuyến của mặt phẳng quỹ đạo một góc 6°40'. Tại mỗi điểm, từ Trái Đất chúng ta chỉ quan sát tối đa được nửa mặt nguyệt cầu. Nhưng nếu quan sát trong một tháng giao hội thì có thể quan sát được 60% bề mặt của nó, do các nguyên nhân sau:

– Quỹ đạo Mặt Trăng có dạng elip (hình II.36).

– Trục quay của Mặt Trăng nghiêng với mặt phẳng quỹ đạo. (hình II. 37).

– Mặt Trăng được quan sát từ các vị trí khác nhau trên Trái Đất.

Hình II.37

5. Nhật, nguyệt thực

Hiện tượng: Nhật thực xảy ra khi Mặt Trời bị Mặt Trăng che khuất, tức là khi Mặt Trời và Mặt Trăng giao hội (vị trí T_1 của Mặt Trăng trên hình II.38). Nguyệt thực xảy ra khi Mặt Trăng đi vào bóng tối của Trái Đất, Mặt Trời và Mặt Trăng xung đối (vị trí T_2 của Mặt Trăng trên hình II.38).

Hình II.38

Nếu hai mặt phẳng bạch đạo và hoàng đạo trùng nhau thì nhật nguyệt thực xảy ra hàng tháng âm lịch. Nhưng vì chúng nghiêng nhau một góc 5°9' nên số lần nhật nguyệt thực ít hơn nhiều. Trên hình II.39 cho thấy hiện tượng nhật nguyệt thực chỉ xảy ra khi Mặt Trăng giao hội hay xung đối ở gần tiếp tuyến NN' của mặt phẳng quỹ đạo Mặt Trăng với mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất. Như vậy, một năm chỉ có 2 đợt xảy ra nhật nguyệt thực, khi Trái Đất ở vị trí 1 và 3 trên hình II.39.

Hình II.39

Nhật thực. Khi bóng của Mặt Trăng chạm vào Trái Đất ở E (hình II.38), ta thấy nhật thực toàn phần. Các nơi trong vùng lân cận thấy nhật thực một phần. Khi khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trăng lớn đến mức bóng tối của Mặt Trăng không chạm vào Trái Đất. Trong trường hợp này, các địa phương trên trục bóng tối sẽ thấy nhật thực vành khuyên. Nhật thực có thể kéo dài hàng giờ, nhưng nhật thực toàn phần chỉ kéo dài không quá 7 ph.

Hình II.40

Trên hình II. 40, M là Mặt Trời, T là Mặt Trăng, Đ là Trái Đất. Ta thấy:

TDM = MDS + SDK +KDT

Mà: SDK = AKD – KSD,

nên TDM = MDS + AKD – KSD + KDT

MDS: bán kính góc Mặt Trời = 15'5

AKD: thị sai Mặt Trăng = 57'

KSD: thị sai Mặt Trời = 9"

KDT: bán kính góc Mặt Trăng =16'3"

Do đó: TDM = 88'21"

Đứng trên Trái Đất, ta thấy đĩa Mặt Trời và Mặt Trăng tiếp xúc nhau gần tiết điểm N (hình II.41). Xét tam giác TMN thì:

Hình II.41

tanMT = tan MNT.sinMN, hay tan 88'21' = tan5°9'.sinMN.

Vậy MN = 16°5

Khi đó Mặt Trời M cách tiết điểm N một khoảng 16°5, hay M di chuyển trên cung HH' 33° mất 34 ngày.

Như vậy, trong năm có ít nhất 2 lần nhật thực, nhiều nhất 4 lần.

Nguyệt thực: Tương tự, nguyệt thực xảy ra Mặt Trời di chuyển trên hoàng đạo một cung 21° trong vòng 22 ngày. Trong một năm có nhiều nhất 2 lần nguyệt thực.

Thực tế, tiết điểm dịch chuyển ngược chiều chuyển động của Mặt Trời nên trong một năm, Mặt Trời về sớm hơn 20 ngày. Trong một năm nào đó, có lần nhật nguyệt thực đầu năm, giữa năm và cuối năm, và như vậy có thể có thêm một nhật thực hay một nguyệt thực

Như vậy, trong một năm có tối đa 5 nhật thực, 2 nguyệt thực hay 4 nhật thực, 3 nguyệt thực và tối thiểu là 2 nhật thực.

Nhật nguyệt thực là hiện tượng che khuất lẫn nhau do Mặt Trăng chuyển động quanh Trái Đất và Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời. Do chu kỳ của các thiên thể này hoàn toàn xác định nên hiện tượng nhật nguyệt thực cũng xảy ra theo chu kỳ xác định. Chu kỳ đó là bội số chung nhỏ nhất của 3 chu kỳ: tuần trăng 29,53 ngày, chu kỳ Mặt Trăng trở lại một tiết điểm xác định 27,21 ngày và năm tiết điểm 346,62 ngày. Như vậy, chu kỳ nhật nguyệt thực là 6585,32 ngày hay 18 năm 11,32 ngày. Mỗi chu kỳ có 41 nhật thực, 29 nguyệt thực.

6. Thuỷ triều

Thuỷ triều là hiện tượng nước ở cửa sông, biển lên xuống 2 lần trong vòng 24h52ph, tức là khoảng thời gian Mặt Trăng đi qua kinh tuyến trên (hoặc kinh tuyến dưới) tại một nơi. Do đó nguyên nhân của thuỷ triều là do Mặt Trăng.

Hình II.42

Do độ lớn Trái Đất đáng kể so với khoảng cách Mặt Trăng–Trái Đất nên lực tác dụng của Mặt Trăng tại những nơi khác nhau là không như nhau.

Giả sử Trái Đất được bao bọc bởi một lớp nước (hình II.42). Gia tốc mà Mặt Trăng tác dụng lên một phần tử nước ở Trái Đất là:

Ở tâm Trái Đất:

$$W_o = Gm/r^2 \quad \text{(II.26)}$$

Ở A: $$W_A = Gm/(r-R)^2 \quad \text{(II.27)}$$

Ở B: $$W_B = Gm/(r+R)^2 \quad \text{(II.28)}$$

Trái Đất chịu tác dụng của Mặt Trăng và có gia tốc W_o. Vì Trái Đất là hệ không quán tính nên khi xét các phần tử nước ở trong hệ

này, ta phải tính đến gia tốc quán tính $-W_o$. Do đó, gia tốc thuỷ triều ở A là: $W_1 = W_A - W_o$

$$W_1 = Gm\left[\frac{2rR - R^2}{(R-r)^2.r^2}\right] \approx Gm\frac{2R}{r^3} \qquad \text{(II.29)}$$

và tương tự thì ở B có

$$W_2 = -Gm\frac{2R}{r^3} \qquad \text{(II.30)}$$

W_1 và W_2 là gia tốc thuỷ triều tại A và B, bằng nhau về độ lớn nhưng ngược nhau về chiều. Như vậy, nước ở A và B được nâng lên, đồng thời nước ở C, D lại hạ xuống. A, B tương ứng với Mặt Trăng qua kinh tuyến trên. Gia tốc thuỷ triều do Mặt Trăng gây ra lớn hơn 2 lần gia tốc thuỷ triều gây ra bởi Mặt Trời. Do đó, kết hợp cả hai thuỷ triều thì mực nước lên xuống càng mạnh, mạnh nhất vào các ngày không trăng hay trăng tròn, yếu nhất vào các ngày huyền (ngày 7, 8 hay 22, 23 của tháng âm lịch).

Hiện tượng thuỷ triều còn phụ thuộc vào địa hình bờ biển và đáy đại dương... Hiện tượng triều cũng diễn ra đối với khí quyển và vỏ Trái Đất nữa. Người ta đã tính được ở một số nơi nhất định mặt đất được nâng lên, hạ xuống hàng ngày với biên độ vào khoảng vài đềximét.

BÀI TẬP CHƯƠNG HAI

Hệ Trái Đất – Mặt Trăng

2.1. Kim tinh chỉ phản xạ ánh sáng Mặt Trời nhưng rất sáng. Nhìn qua kính thiên văn, ta thấy được các pha tròn, khuyết của nó. Khi Kim tinh xuất hiện vào buổi sáng, ta thường gọi là "sao Mai" và sau bao lâu Kim tinh xuất hiện vào buổi chiều (sao Hôm). Biết khoảng cách góc cực đại giữa Mặt Trời và Kim tinh là 48°. Tính bán kính góc quỹ đạo (đvtv) và chu kỳ quay (năm) của Kim tinh.

2.2. Sao α và β chòm Đại Hùng là hai sao thẳng hàng với sao Bắc Cực và chúng có tọa độ tương ứng là $\alpha_1 = 11°01', \delta_1 = 62°01'$, $\alpha_2 = 10°59', \delta_2 = 65°39'$. Tính khoảng cách giữa hai sao này.

2.3. Sao α chòm Thần Nông có xích vĩ là –26°19'. Tính độ cao và độ phương khi nó đi qua kinh tuyến trên tại một nơi ở Hà Nội có vĩ độ $\varphi = 21°03'$.

2.4. Sao Chức Nữ có xích kinh là $18^h\ 34^{ph}$, xích vĩ là 38°40'. Khi điểm xuân phân qua kinh tuyến trên đối với một người ở Thành phố Hồ Chí Minh thì sao Chức Nữ ở phương nào của bầu trời. Ở thời điểm ấy, góc giờ của nó là bao nhiêu?

2.5. Đêm trắng là hiện tượng hoàng hôn vừa kết thúc thì bình minh đã bắt đầu. Ở vĩ độ nào và ở thời điểm nào có đêm trắng?

2.6. Sao α chòm Tráng Sỹ có xích vĩ 7°24' khi qua kinh tuyến trên tại một nơi thì nó có độ cao là 78°44' và độ phương bằng không. Tính vĩ độ nơi ấy.

2.7. Vào ngày thu phân, bóng của một cột điện thẳng đứng trên mặt phẳng nằm ngang lúc giữa trưa bằng 0,374 độ dài của cột. Hãy xác định vĩ độ nơi ấy.

2.8. Gia tốc trọng trường tại những nơi có vĩ độ địa lý khác nhau thì khác nhau. 0° (9,780m/s^2), 20° (9,802m/s^2), 40° (9,819m/s^2), 80° (9,831m/s^2, 90° (9,832m/s^2). Giải thích vì sao gia tốc trọng trường phụ thuộc vào vĩ độ địa lý.

2.9. Dùng biểu thức tính gia tốc trọng trường ở bề mặt Trái Đất, tính gia tốc trọng trường ở bề mặt của:

Mặt Trăng: $M_t = 0.0123\ M_D$, $R_t = 1738$km.

Mặt Trời: $M_T = 2.10^{30}$kg, $R_T = 7.10^8$m.

Mộc tinh: $M_m = 318\ M_D$, $R_m = 11.2R_D$.

2.10. Vào một ngày đầu năm 2007, Mặt Trời có xích vĩ là –23°04'. Phương trình thời gian hôm ấy là $2^{ph}40^s$. Lúc Mặt Trời qua kinh tuyến trên tại Vinh ($\varphi = 18°32'$, $\lambda = 105°30'$), một đồng hồ đeo tay chỉ $12^h\ 04^{ph}$. Hỏi:

Giờ trung bình địa phương lúc ấy.

Đồng hồ đeo tay chạy nhanh hay chậm bao nhiêu.

Giờ quốc tế lúc ấy.

Độ cao và độ phương của Mặt Trời lúc ấy.

2.11. Tại sao khi Hoàng đế Xêda cho ban hành dương lịch (năm 45 trước công nguyên), điểm xuân phân nằm trong chòm sao Bạch Dương nhưng hiện nay điểm xuân phân đang nằm ở trong chòm sao Song Ngư?

2.12. Xem cung hoàng đạo trên 12 chòm sao hoàng đới đều dài như nhau. Mặt Trời chuyển động trong chòm sao nào với thời gian ngắn nhất.

2.13. Vì sao sản xuất nông nghiệp mà dùng âm lịch phải theo các ngày tiết?

2.14. Từ Trái Đất nhìn đường kính góc của Mặt Trời là 10^{-2}rad. Bán kính Trái Đất là R_o = 6400km. Xác định tỷ số mật độ trung bình của Trái Đất và Mặt Trời? Lấy độ dài của năm Trái Đất là $T = \pi.10^7$s.

2.15. Tính độ cao và độ phương lúc giữa trưa tại cầu Hiền Lương (trên vĩ tuyến 17) vào các ngày xuân phân, hạ chí, thu phân và đông chí.

2.16. Trong tiểu thuyết "Anna Catêrianna", L. Tônxtôi tả cảnh đi săn của Oblônxki và Lêvin như sau: "trời đã tối, Kim tinh rực rỡ ánh sáng bạc đã xuống thấp ở phía tây và long lanh sau rừng bạch dương mát dịu, ở phương đông, từ trên cao sao Áctua ảm đạm đang rót xuống những dòng sáng hơi đỏ. Các sao chòm Đại Hùng nằm ngay trên đỉnh đầu mà Lêvin không hề nhìn thấy trong khi anh ta đang săn đuổi" Dựa vào sự mô tả quang cảnh bầu trời để xác định xem cuộc đi săn ấy đã được tiến hành vào mùa nào, tháng nào?

2.17. Theo hiệp định Giơnevơ, năm 1956 phải có tổng tuyển cử thống nhất đất nước. Nhưng Mỹ – Ngụy đã phá hiệp định. Năm 1957, nhà thơ Nguyễn Bính nhớ vợ con ở miền Nam đã viết bài thơ có những câu:

"Trời hiện dần lên những chấm sao
Lòng trời đang thấp bỗng nhiên cao
Sông Ngân đã tỏ đôi bờ lạnh
Ai biết cầu Ô ở chỗ nào?

Tìm mũ Thần Nông chả thấy đâu
Thấy con vịt lội giữa dòng sâu
Sao Hôm như mắt em ngày ấy
Rớm lệ nhìn tôi bước xuống tàu..."

Dựa vào các câu thơ trên, xác định bài thơ đã được viết vào tháng nào?

2.18. Hãy mô tả quỹ đạo của Mặt Trăng trong hệ toạ độ nhật tâm.

2.19. Ngày mất của Chủ tịch Hồ Chí Minh là ngày 2/9/1969, tức là ngày 21/7 âm lịch. Ngày 2/9/2007 cũng là ngày 21/7/2007 âm lịch. Hãy giải thích vì sao có sự trùng hợp như vậy và sự trùng hợp này có còn xảy ra ở nhiều năm khác nữa không?

2.20. Theo tính toán và thực tế, một năm thường có 4 lần nhật thực và có nhiều nhất chỉ 2 lần nguyệt thực. Vì sao nhiều người lại nhìn thấy số lần nguyệt thực toàn phần quan sát được nhiều hơn số lần nhật thực nhìn thấy toàn phần?

2.21. So sánh gia tốc thuỷ triều do Mặt Trăng và Mặt Trời gây ra. Khi nào thì mực nước thuỷ triều lên cao nhất tại một nơi trên bờ biển. Tại sao hiện tượng triều lại làm giảm tuổi thọ của một số vệ tinh nhân tạo?

Chương III

CÁC HÀNH TINH VÀ CÁC THÀNH VIÊN KHÁC CỦA HỆ MẶT TRỜI

I– CÁC HÀNH TINH TRONG HỆ MẶT TRỜI

1. Quá trình khám phá các hành tinh

Hệ Mặt Trời còn có các tên gọi khác: hệ hành tinh chúng ta, thái dương hệ hay hệ nhật tâm. Hệ nhật tâm do nhà thiên văn người Ba Lan N. Copernicus (1473 – 1543) đề xướng vào năm 1543.

Cho đến giữa thế kỷ XVIII người ta chỉ mới phát hiện 6 hành tinh quay quanh Mặt Trời, theo thứ từ Mặt Trời đi ra là: Thuỷ tinh (Mercury), Kim tinh (Venus), Trái Đất (Earth), Hoả tinh (Mars), Mộc tinh (Jupiter) và Thổ tinh (Saturn).

Năm 1772 các nhà thiên văn người Đức là I.D. Tixius và I.E. Bode đã nghiên cứu khoảng cách từ Mặt Trời đến các hành tinh và thấy có quy luật sau: Nếu cộng thêm 4 cho mỗi số trong dãy số 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96 thì ta được dãy số mới biểu diễn khá chính xác khoảng cách từ Mặt Trời đến các hành tinh (theo đơn vị 0,1 đơn vị thiên văn).

	Thuỷ tinh	Kim tinh	Trái Đất	Hoả tinh		Mộc tinh	Thổ tinh
Khoảng cách tính được	4	7	10	16	28	52	100
Khoảng cách thực	3,9	7,3	10	15,2		52	95,4

Điều đáng chú ý là ứng với con số 28 không có một hành tinh nào. Ngày 1/1/1801, nhà thiên văn nghiệp dư Piatxi đã phát hiện một thiên thể có độ sáng rất yếu. Sử dụng các số liệu của Piatxi, nhà Toán học Gauss đã xác định được quỹ đạo elip của thiên thể này, mà bán trục lớn của nó ứng với con số 27,7 và được gọi là hành tinh tý hon. Đến nay người ta đã phát hiện được trên ba ngàn năm trăm hành tinh tý hon như vậy, mà quỹ đạo của chúng đều nằm giữa quỹ đạo của Hoả tinh và Mộc tinh.

Năm 1781, nhà thiên văn người Anh William Herschel (1738 – 1822)

khám phá thêm Thiên tinh (Uranus). Nghiên cứu quỹ đạo của Thiên tinh, người ta cho rằng phải có một hành tinh khác nữa gây nhiễu loạn lên chuyển động của hành tinh này. Bài toán hóc búa này được nhà khoa học Pháp Le Verrier giải và dự báo được vị trí của thiên thể này trên bầu trời. Đêm 23/9/1846, nhà thiên văn người Đức Galle quan sát được hành tinh này. Đó là Hải tinh (Neptune). Năm 1930, Clyde Tombaugh phát hiện thêm một hành tinh nữa, đó là Diêm tinh (Pluto). Ba hành tinh ngoài được phát hiện bằng kính thiên văn không theo đúng quy luật Tuxius–Bode.

Hình III.1. Khoảng cách từ Mặt Trời đến các hành tinh

Năm 1930, Hội Thiên văn Quốc tế (IAU) chính thức công bố các hành tinh trong Hệ Mặt Trời có 9: Thuỷ tinh, Kim tinh, Trái Đất, Hoả tinh, Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên tinh, Hải tinh và Diêm tinh.

2. Phân loại các hành tinh trong Hệ Mặt Trời

Dựa trên đặc điểm của chúng, người ta phân các hành tinh thành 2 nhóm:

Phân loại theo nhóm	Hành tinh	Khoảng cách đến Mặt Trời (đơn vị TV)	Bán kính xích đạo (so với Trái Đất)	Khối lượng (so với Trái Đất)	Khối lượng riêng (g/cm³)	Số vệ tinh
I	Thuỷ tinh	0,3871	0,3824	0,0553	5,43	0
	Kim tinh	0,7233	0,9489	0,8150	5,24	0
	Trái Đất	1,0000	1,0000	1,0000	5,515	1
	Hoả tinh	1,5237	0,5326	0,1074	3,94	2
II	Mộc tinh	5,2028	11,194	317,896	1,33	63
	Thổ tinh	9,5388	9,41	95,185	0,70	34
	Thiên tinh	19,1914	4.0	14,537	1,30	27
	Hải tinh	30,0611	3,9	17,151	1,64	13
I	Diêm tinh	39,5294	0,18	0,0025	2,13	

– Nhóm hành tinh bé gồm Thuỷ tinh, Kim tinh, Trái Đất, Hoả tinh và Diêm tinh, còn gọi là nhóm Trái Đất.

– Nhóm hành tinh lớn gồm Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên tinh và Hải tinh, còn gọi là nhóm Mộc tinh hay nhóm các hành tinh khổng lồ.

Nhìn vào bảng phân loại, ta thấy nhóm hành tinh bé (nhóm I) có kích thước nhỏ nhưng lại có khối lượng riêng lớn, là những hành tinh ở phía trong. Nhóm hành tinh lớn (nhóm II) lại có khối lượng riêng bé, là những hành tinh nằm ở các vòng quỹ đạo phía ngoài.

Diêm tinh là một hành tinh nằm ở vòng quỹ đạo ngoài cùng, nhưng lại được xếp vào nhóm hành tinh bên trong có kích thước bé (chỉ bằng 0,18 kích thước của Trái Đất). Năm 1978, Jame W. Christry đã khám phá ra Charon, vệ tinh của Diêm tinh. Cũng giống như Hệ Trái Đất – Mặt Trăng, Diêm tinh và Charon được xem là cặp hành tinh vì bán kính của Charon là 593 ±13km và bán kính của Diêm tinh là 1.151 ±6km.

3. Những khám phá mới

Các nhà thiên văn Mỹ với các thiết bị hiện đại lắp đặt trên kính vũ trụ Hubble đã phát hiện thiên thể mới 2003UB313. Maikơ Brau tại Viện Công nghệ California đã khám phá thiên thể mới kiểu hành tinh nằm trong vùng rìa của Thái dương hệ, gọi là vành đai Kuiper. Hiện tại người ta đã phát hiện nhiều thiên thể kiểu mới này, phần lớn đều thuộc về vành đai Kuiper.

Các thiên thể mới được phát hiện đều nằm ở bờ của Thái dương hệ. Kính vũ trụ Hubble đã đo được 2003UB313 có đường kính 3000km. Năm 2005, kính vũ trụ Hubble lại đo được kích thước của

2 vệ tinh mới của Diêm tinh là Nix (đường kính 30km) và Hydra (có đường kính 160km).

Những thiên thể mới phát hiện với số lượng nhiều và có nhiều đặc tính giống 2003UB313 nên từ năm 2003, IAU đã từ chối gọi 2003UB313 là hành tinh thứ 10.

4. Tiêu chí cho hành tinh

Trên cơ sở các khám phá về những thiên thể mới, bé dạng Diêm tinh và đều nằm ở bờ Thái dương hệ, các nhà khoa học đặt vấn đề liệu Diêm tinh có thuộc vào một nhóm khác các thiên thể trong Hệ Mặt Trời không? Như vậy, phải có tiêu chí cho hành tinh, và khái niệm hành tinh phải được định nghĩa lại: "Hành tinh là một thiên thể nguội bay trong quỹ đạo quanh Mặt Trời với khối lượng đủ lớn để có dạng hình cầu và quỹ đạo của nó không cắt quỹ đạo của hành tinh khác".

Hình III.2

Diêm tinh có kích thước quá bé, quỹ đạo của nó là một elip dẹt và cắt quỹ đạo của Hải tinh, trong một chu kỳ quay quanh Mặt Trời là 248 năm thì có 22 năm chuyển động phía trong quỹ đạo của Hải tinh.

Theo định nghĩa mới về hành tinh thì Diêm tinh được đưa ra ngoài biên chế các hành tinh của Hệ Mặt Trời. Như vậy, Diêm tinh cùng với Charon, Ceres, 2003UB313, các thiên thể thuộc vành đai Kuiper... nay được gọi là tiểu hành tinh hay hành tinh lùn (dwarf planets).

5. Cách phân loại mới

Đại hội đồng Hội Thiên văn Quốc tế lần thứ XXVI (IAU XXVIth Genenral Assembly) được tổ chức tại Praha, Cộng hoà Séc từ 14 – 25/8/2006. Ngày 24/08/2006, cuộc họp toàn thể của IAU Genenral Assembly đã thảo luận về vấn đề hạ cấp Diêm tinh. Một số nhà khoa học băn khoăn và đặt vấn đề là có nhất thiết phải phân loại lại như vậy không, vì rằng từ "hành tinh" đã mang ý nghĩa về văn hoá, lịch sử và xã hội lâu đời. Cuối cùng, GA IAU cũng đã biểu quyết về định nghĩa mới hành tinh, cách xếp loại hành tinh và đưa Diêm tinh vào nhóm tiểu hành tinh hay hành tinh lùn.

Như vậy, từ nay Hệ Mặt Trời có 8 hành tinh: Thuỷ tinh, Kim tinh, Trái Đất, Hoả tinh, Mộc tinh, Thổ tinh, Thiên tinh và Hải tinh.

Hiện nay, Mỹ đã phóng tàu vũ trụ không người lái New Horizons và sẽ bay qua quỹ đạo Diêm tinh và vành đai Kuiper vào 7/2015.

6. Tổng quan về các hành tinh

Các hành tinh bé kiểu Trái Đất có kích thước bé, có khối lượng không lớn hơn khối lượng Trái Đất và có mật độ (khối lượng riêng) lớn (từ 3400 đến 5500kg/m^3, gấp 5,5 lần khối lượng riêng của nước. Nó được cấu tạo chủ yếu từ các nguyên tố nặng như sắt, silicát, magiê.

Các hành tinh lớn kiểu Mộc tinh có kích thước lớn nhưng lại có khối lượng riêng bé. Nó được cấu tạo chủ yếu từ các khí như hyđrô, hêli, cacbonic....

Khối lượng của các thiên thể được tính nhờ định luật 3 Kepler.

Các hành tinh đều có vệ tinh, trừ Thuỷ tinh và Kim tinh. Bốn hành tinh lớn đều có vành đai bao quanh.

Cấu tạo bên trong của các hành tinh phụ thuộc vào thành phần hoá học, mật độ, nhiệt độ và áp suất của chúng. Nói chung, áp suất, nhiệt độ tăng dần từ ngoài vào tâm.

Các hành tinh đều chuyển động quanh Mặt Trời tuân theo 3 định luật Kepler.

Hình III.3

Quỹ đạo của các hành tinh là elip, có chiều quay từ tây sang đông (chiều thuận), chỉ có Kim tinh và Thiên tinh quay theo chiều ngược lại, từ đông sang tây.

Hai hành tinh này quay theo chiều ngược là vì mặt phẳng quỹ đạo nghiêng với mặt phẳng xích đạo của chúng một góc lớn hơn 90° (hình III.3).

Các hành tinh là những thiên thể không tự phát sáng, nó chỉ bức xạ sóng hồng ngoại và vô tuyến. Quang phổ của chúng là quang phổ Mặt Trời. Nếu hành tinh có khí quyển trong quang phổ có những vạch hấp thụ và ánh sáng Mặt Trời được phản xạ từ bề mặt hành tinh bị phân cực.

Qua phân tích phổ vô tuyến, các vạch hấp thụ và tính chất phân cực của ánh sáng phản xạ, ta thấy các hành tinh đều được cấu tạo từ những nguyên tố hoá học có trên Trái Đất.

Khả năng phản xạ các bức xạ được chiếu vào hành tinh được gọi là albedo A. Như vậy, hành tinh chỉ hấp thụ 1 – A phần bức xạ do Mặt Trời gửi đến. Những thiên thể không có hoặc ít khí quyển (như Thuỷ tinh, Mặt Trăng, Hoả tinh) thì albedo bé vì lớp đá nham thạch của chúng phản xạ kém. Bề mặt băng đá như các vệ tinh của Thổ tinh có albedo đáng kể. Albedo của Trái Đất phụ thuộc vào mùa, mây mù và băng tuyết, nhưng cũng khoảng 0,35.

Những thông số quan trọng nhất của bề mặt hành tinh là màu sắc, albedo và nhiệt độ.

Màu sắc của hành tinh liên quan đến thành phần của bề mặt và khí quyển. Biển và lục địa trên Trái Đất đã cho Trái Đất có màu xanh với những đốm màu xanh lá cây, nâu và màu da cam. Vùng rộng lớn của đất và tuyết được phủ màu trắng. Bề mặt phủ dung nham của

Mặt Trăng cho màu xám đen với ít màu nâu. Vùng sa mạc trên Hoả tinh cho màu nâu – da cam...

Các thiên thể nóng sáng bức xạ năng lượng theo đủ loại bước sóng, gọi là bức xạ nhiệt. Công suất bức xạ phụ thuộc vào nhiệt độ và được biểu diễn bởi định luật Stefan – Boltzmann:

$$E = \sigma T^4 (W/m^2) \qquad \text{(III.1)}$$

Ở đây, E là công suất bức xạ, T là nhiệt độ, σ là hằng số Stefan – Boltzmann $\sigma = 5{,}67.10^{-8}\ N/m^2.K^4$.

Đối với Mặt Trời, bề mặt quang cầu có diện tích là $4\pi R_o^2$, nhiệt độ quang cầu là 5800K thì năng lượng bức xạ tổng cộng là:

$$4\pi R_o^2 E_o = 4\pi R_o^2 \sigma T_o^4 = 3{,}8.10^{26}\,W \qquad \text{(III.2)}$$

Ở khoảng cách d từ Mặt Trời đến hành tinh thì công suất bức xạ của Mặt Trời truyền qua diện tích $4\pi d^2$ là:

$$E = \frac{4\pi R_o^2 E_o}{4\pi d^2} = (\frac{R_o}{d})^2 E_o \qquad \text{(III.3)}$$

Bán kính của hành tinh là R thì vùng hấp thụ hiệu dụng trên bề mặt hành tinh là: πR^2. Khả năng làm phản xạ bức xạ Mặt Trời vào hành tinh được gọi là albedo A của hành tinh. Như vậy, hành tinh chỉ hấp thụ (1 – A) phần bức xạ do Mặt Trời gửi đến. Ta có:

$$(1 - A)\pi R^2 E = (1 - A)R^2 (\frac{R_o}{d})^2 \sigma T^4 \qquad \text{(III.4)}$$

Năng lượng tổng cộng mà hành tinh bức xạ là: $4\pi R^2 \sigma T^4$.

Khi hấp thụ năng lượng từ Mặt Trời, hành tinh sẽ bức xạ, nên:

$$4\pi R^2 \sigma T^4 = (1 - A)R^2 (\frac{R_o}{d})^2 \sigma T_o^4 \qquad \text{(III.5)}$$

Do đó, nhiệt độ bức xạ của hành tinh là:

$$T = (1 - A)^{\frac{1}{4}} (\frac{R_o}{2d})^{\frac{1}{2}} T_o \qquad \text{(III.6)}$$

Sự tồn tại khí quyển phụ thuộc vào nhiệt độ và vận tốc khuếch tán (vận tốc vũ trụ cấp II) của hành tinh. Vận tốc chuyển động nhiệt trung bình của các phân tử khí v phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường:

$$v^2 = \frac{3kT}{m} \qquad \text{(III.7)}$$

Ở đây k là hằng số Boltzmann, m là khối lượng phân tử khí, T là nhiệt độ môi trường. Một thiên thể muốn giữ được khí quyển lâu dài thì vận tốc chuyển động trung bình của các chất khí phải nhỏ hơn vận tốc khuếch tán của thiên thể đó và thoả mãn điều kiện:

$$V < 0,2\ V_{II} \text{ hay } \sqrt{\frac{3kT}{m}} < 0,2\sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad \text{(III.8)}$$

Vì đây là vận tốc trung bình nên trên thực tế, có nhiều phân tử khí có vận tốc lớn hơn nhiều và vì nhiệt độ các hành tinh nhìn chung là thấp nên vận tốc trung bình của các phân tử khí cũng bé, cỡ vài km/s. Những nguyên tố nhẹ trong nhóm hành tinh lớn sẽ có tỷ lệ cao hơn so với nhóm hành tinh bé.

II– NHÓM CÁC HÀNH TINH BÉ PHÍA TRONG

1. Thuỷ tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay (ngày)		Nhiệt độ bề mặt (°C)	
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày	Ban đêm
0,3871	57,9	0,3824	2.439	0,0553	5,43	87,96	58,646	430	–180

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Thuỷ tinh là hành tinh gần Mặt Trời nhất nên rất khó quan sát. Thuỷ tinh có cấu tạo: 70% kim loại (trong đó khoảng 42% là lõi sắt nằm ở tâm) và khoảng 30% silicat, nằm chủ yếu ở lớp ngoài, dày khoảng 600km. Thuỷ tinh không có một vệ tinh tự nhiên nào.

Hình III.4. Thuỷ tinh

b) Khí quyển

Thuỷ tinh có lớp khí quyển khá mỏng, chủ yếu là các phân tử kali, natri và oxy. Do ở gần Mặt Trời nên ánh sáng Mặt Trời chiếu vào bề mặt khá lớn, lớn gấp 9 lần so với Trái Đất.

Các nguyên tử trong khí quyển liên tục bị mất vào trong không gian vì lực hấp dẫn quá bé, nhưng mật độ khí quyển được duy trì bởi các nguyên tử khác do sự phóng xạ của Mặt Trời, sự bốc hơi của lớp băng đá hay do các thiên thạch rơi vào Thuỷ tinh. Nhiệt độ trung bình giữa ngày và đêm chênh nhau khá lớn, hơn 600°C.

c) Bề mặt

Thuỷ tinh có các cao nguyên với các miệng núi lửa do va chạm chồng lên nhau và có các đồng bằng. Hình như rất nhiều vụ va chạm đã diễn ra vào thời xa xưa. Một thiên thạch đã rơi xuống bề mặt Thuỷ tinh và tạo nên một hố rộng với đường kính đến 1350km và xung quanh là những dãy núi cao khoảng 2km.

d) Chuyển động

Quỹ đạo của Thuỷ tinh là một elip dẹt với tâm sai e = 0,2056. Vận tốc của Thuỷ tinh ở cận điểm là 59km/s và ở viễn điểm là 39km/s.

e) Quá trình thám hiểm

Phi thuyền Mariner 10 của NASA phóng vào tháng 11 năm 1973 và đến phạm vi của Thuỷ tinh vào tháng 3 năm 1974, là phi thuyền duy nhất thám hiểm hành tinh này. Do đó, chỉ mới khoảng 45% bề mặt của Thuỷ tinh được khám phá. Tàu Messenger đang bay về phía Thuỷ tinh và sẽ đi vào quỹ đạo của hành tinh này vào đầu năm 2011.

2. Kim tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay (ngày)		Nhiệt độ bề mặt (°C)	
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày	Ban đêm
0,7233	108,2	0.9489	6.052	0,8150	5,24	224,68	243,01	480	

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Kim tinh là hành tinh gần Trái Đất nhất, có kích cỡ gần bằng Trái Đất. Kim tinh bị mây bao phủ hoàn toàn nên phải quan sát bằng vô tuyến. Kim tinh là thiên thể sáng thứ 3, sau Mặt Trời và Mặt Trăng và được mệnh danh là nữ thần sắc đẹp với hai pha của nó là "sao Hôm" và "sao Mai". Khí quyển Kim tinh có khoảng 96% là khí cacbonic và khoảng 3% là nitơ. Kim tinh không có vệ tinh nào.

b) Khí quyển

Hình III.5. Kim tinh ảnh chụp từ trạm tự động Mariner 10

Khí quyển Kim tinh với áp suất 95 lần áp suất khí quyển Trái Đất và chứa chủ yếu là cacbonic với nhiệt độ cao, khoảng 480°C, cao nhất trong các hành tinh của Hệ Mặt Trời. Kim tinh hấp thụ nhiệt mà không bức xạ nhiệt ra ngoài vì bầu khí quyển quá nhiều khí cacbonic (nên có hiệu kính nhà kính). Nhiệt trên Kim tinh không phải có nguồn gốc từ Kim tinh, mà có nguồn gốc từ Mặt Trời. Ánh sáng Mặt Trời nung nóng khí quyển Kim tinh cho đến khi năng lượng có thể phát xạ vào vũ trụ. Sau đó khí quyển nóng lại nung nóng bề mặt, làm nhiệt độ tăng lên. Mây của Kim tinh chứa các hạt chất lỏng axit nhỏ li ti. Chính lớp mây này đã ngăn cản ánh sáng Mặt Trời, chỉ còn 1/3 khi đến bề mặt. Sự cách biệt nhiệt độ giữa ban ngày và ban đêm rất ít.

c) Bề mặt

Từ năm 1967, trạm vũ trụ của Nga đã đổ bộ xuống bề mặt Kim tinh, truyền về Trái Đất các tín hiệu vô tuyến để khảo sát Kim tinh. Bề mặt Kim tinh tương đối bằng phẳng, hơn 90% bề mặt được phủ bởi dung nham. Có hai cao nguyên khổng lồ chính cỡ lục địa, nằm xen giữa chúng là các cao nguyên nhỏ và thấp hơn. Không có hoạt động kiến tạo mảng trên Kim tinh. Vì khí quyển nóng nên sự sống không tồn tại trên Kim tinh.

d) Chuyển động

Quỹ đạo của Kim tinh là một hình elip gần tròn, tâm sai e = 0,0068. Kim tinh quay rất chậm và ngược chiều với các hành tinh khác, tức là theo chiều từ đông sang tây. Vận tốc quay của Kim tinh là –6,5km/h, vận tốc quay nhỏ nhất trong các hành tinh, và do đó, chu kỳ tự quay của nó đến 243 ngày. Trục quay của Kim tinh gần như thẳng góc với với mặt phẳng quỹ đạo nên trên Kim tinh không có hiện tượng 4 mùa.

e) Quá trình thám hiểm

Từ 1961 đến 2004, Mỹ và Nga đã phóng 30 phi thuyền lên thám

hiểm Kim tinh. Tàu Vũ trụ Magellan phóng lên 5/1989, bay vào quỹ đạo quanh Kim tinh vào tháng 9/1990, đã thám hiểm được 98% bề mặt Kim tinh và đã vẽ bản đồ Kim tinh một cách chi tiết. Chỉ bằng phương pháp quan sát vô tuyến mới xác định được chu kỳ tự quay và khảo sát bề mặt Kim tinh.

3. Hoả tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đế Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay		Nhiệt độ bề mặt(°C)	
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày	Ban đêm
1,5237	227,9	0,5326	3.393,4	0,1074	3,94	686,95	$24^h37^{ph}22^s$	–31	–124

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Hình III.6. Hoả tinh

Hoả tinh là hành tinh đầu tiên có quỹ đạo nằm ngoài quỹ đạo của Trái Đất. Hoả tinh có 4 mùa, ở vùng 2 cực có băng đá, có mây, gió, bão cát... Hoả tinh có một lớp khí quyển mỏng với khoảng 90% là cacbon, 3% là nitơ và khoảng 1,6% là agon. Hoả tinh phản chiếu ánh sáng màu đỏ nên được mệnh danh là vị thần chiến tranh. Hoả tinh có 2 vệ tinh là Deimos và Phobos.

b) Khí quyển

Bầu khí quyển mỏng, chứa nhiều bụi. Áp suất của khí quyển ở bề mặt chỉ bằng 1% áp suất khí quyển Trái Đất.

c) Bề mặt

Trên Hoả tinh có các đồng bằng, cao nguyên và các miệng núi lửa. Sự tạo thành các miệng núi lửa do va chạm mạnh cũng giống như trên Mặt Trăng và Thuỷ tinh. Điều này có nghĩa là trong thời kỳ lịch sử ban đầu của Hệ Mặt Trời, nhiều tảng đá lớn đã chuyển động trên các quỹ đạo ở khắp miền bên trong của Hệ Mặt Trời từ Thuỷ tinh đến

Hoả tinh. Các miệng núi lửa do va chạm lớn đã bị lấp đầy bởi các dòng nham thạch và tạo nên các đồng bằng. Trên Hoả tinh có một thung lũng lớn dài 5000km, rộng 200km và sâu 7km, giống như thung lũng lớn tạo bởi sự rạn nứt của Trái Đất ở Châu Phi. Thung lũng tạo nên bởi sự rạn nứt này không trẻ hơn 10^6 năm tuổi. Phía trong Hoả tinh đã nóng vào thời xa xưa vì ở hai đầu thung lũng rạn nứt có 4 núi lửa khổng lồ, lớn nhất trong Hệ Mặt Trời, đã ngừng hoạt động từ 10^9 năm trở về trước. Nước ở thể lỏng đã từng tồn tại trên bề mặt Hoả tinh và khí quyển của nó đã dày đặc hơn bây giờ. Chỉ một thung lũng lớn do rạn nứt và nó vẫn còn nguyên vẹn là do đã có khá nhiều nhiệt thoát ra từ bên trong, làm tách bề mặt. Sau đó, phía trong lòng mất nhiệt, chuyển động trên bề mặt dừng lại và Hoả tinh trở nên không hoạt động. Nhiệt độ bề mặt giữa ban ngày và ban đêm chênh nhau khá lớn. Hoả tinh là là một hành tinh hoang vu, rất lạnh, không phù hợp cho sự sống.

Hình III.7. Chỏm ở các cực Hoả tinh thay đổi theo mùa

d) Chuyển động

Quỹ đạo của Hoả tinh là một elip với tâm sai e = 0,0934 với chu kỳ quay quanh Mặt Trời là 688,95 ngày và chu kỳ tự quay là 24h37ph22s. Xích đạo của Hoả tinh nghiêng với mặt phẳng quỹ đạo một góc 24°56' nên trên Hoả tinh có biến đổi 4 mùa rõ rệt (hình III.7).

e) Quá trình thám hiểm

Nhiều phi thuyền của Mỹ, Nga, Nhật và châu Âu đã thám hiểm

Hoả tinh. Một số robot được đặt lên bề mặt Hoả tinh, nghiên cứu cấu tạo của khí quyển, điều kiện tự nhiên, đất đai, chứng minh đã có nước hàng tỷ năm trước đây, nghiên cứu điều kiện của sự sống trên Hoả tinh.

III– NHÓM CÁC HÀNH TINH LỚN VÒNG NGOÀI

1. Mộc tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay		Nhiệt độ bề mặt: °C	
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày	Ban đêm
5,2028	778,3	11,94	71398	317,896	1,33	4n337	9h55ph	–130	

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Hình III.8. Mộc tinh

Mộc tinh là hành tinh lớn nhất trong Hệ Mặt Trời, nặng gấp 2 lần của tất cả các hành tinh khác cộng lại và bằng 318 lần so với Trái Đất.

Về cấu tạo: có lõi đá nhỏ so với kích thước của nó, phần ngoài là khí.

Nhóm các hành tinh lớn kiểu Mộc tinh có khối lượng lớn hơn nhiều và có tỷ trọng trung bình bé hơn nhiều so với các hành tinh kiểu Trái Đất. Chúng không có bề mặt rắn, ở thể khí hoàn toàn. Những nguyên tố khí chủ yếu là hyđrô và hêli. Mộc tinh có 63 vệ tinh đã được phát hiện và một vành đai rất mảnh được phát hiện nhờ kính thiên văn vũ trụ.

b) Khí quyển

Ngoài phần lõi nhỏ bằng đá ở giữa, khí quyển chủ yếu là khí: khoảng 86% hyđrô, 14% là heli, amôniac và hơi nước, được phân thành 3 lớp không có ranh giới rõ ràng: lớp khí ở thể đặc trong cùng, tiếp đến là thể lỏng và ngoài cùng là thể khí. Khí quyển Mộc tinh phức tạp hơn nhiều so với khí quyển Trái Đất. Năng lượng hồng ngoại phát ra từ Mộc tinh nhiều hơn năng lượng do Mặt Trời cung cấp.

Phần năng lượng trội hơn này phải lấy từ trong lòng Mộc tinh. Khi nhiệt độ từ trong lòng dâng lên cao sẽ gây ra bão trong phạm vi lớn. Cơn bão xoáy khổng lồ trên bề mặt Mộc tinh có áp suất cao đã tồn tại khoảng 300 năm, có đường kính gấp 3 lần đường kính Trái Đất, được gọi là Đốm Đỏ lớn.

c) Bề mặt

Ranh giới giữa khí quyển và bề mặt Mộc tinh không rõ ràng. Các vùng khí quyển quay với vận tốc khác nhau: vùng ở gần cực quay một vòng chậm hơn không khí ở gần xích đạo khoảng 5ph. Mây ở hai vùng vĩ độ khác nhau bay ngược chiều nhau và tạo nên xoáy, bão lốc với vận tốc lớn có khi đến 600km/h.

d) Chuyển động

Mộc tinh là hành tinh có vận tốc tự quay lớn nhất trong Hệ Mặt Trời. Vùng ở xích đạo, từ vĩ độ ± 10° quay một vòng quanh Mộc tinh mất 9h50ph30s, hai vùng phía trên quay chậm hơn, với chu kỳ là 9h55ph45s.

e) Quá trình thám hiểm

Nhiều phi thuyền đã bay về phía Mộc tinh, đi vào vùng khí quyển và thả máy thám hiểm xuống bề mặt để nghiên cứu từ trường, nghiên cứu các vệ tinh, khám phá ra các vành đai, có phi thuyền đã trở thành vệ tinh nhân tạo của Mộc tinh. Phi thuyền New Horizon bay ngang qua Mộc tinh năm 2007.

2. Thổ tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay		Nhiệt độ bề mặt
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm³	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày
9,5388	1427	9,41	60.000	95,185	0,7	10n726	10h39,9ph	–185°C

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Thổ tinh là hành tinh lớn thứ hai trong Hệ Mặt Trời, khối lượng chưa bằng 1/3 khối lượng Mộc tinh. Về cấu tạo: chủ yếu là các chất khí ở thể lỏng, có tỷ trọng nhỏ hơn tỷ trọng của nước. Thổ tinh có vành đai nhiều màu xung quanh xích đạo và có nhiều vệ tinh. Vệ tinh Titan có khí quyển, có đường kính 5150km, lớn hơn cả Mặt Trăng và Thuỷ tinh.

b) Khí quyển

Ngoài phần lõi nhỏ bằng đá ở trung tâm, khí quyển chủ yếu là khí được phân thành 3 lớp không có ranh giới rõ ràng: đặc, lỏng và ngoài cùng là thể khí.

c) Bề mặt

Hình III.9. Thổ tinh

Các vành đai của Thổ tinh được tạo bởi các hạt bụi và một ít các hòn đá chuyển động một cách độc lập. Các vành đai cùng nằm trong một mặt có bề dày mỏng. Có 3 vành đai chính với độ dày cỡ 10^4km. Mỗi vành đai chính chứa cỡ hàng trăm vành đai mỏng, bề dày khoảng 2km. Khoảng 34 vệ tinh cũng đã được phát hiện. Các vành đai và vệ tinh tương đối ổn định, chúng đã được hình thành hơn 4.10^9 năm về trước. Trên Thổ tinh cũng có nhiều cơn lốc khổng lồ. Kính vũ trụ Hubble đã phát hiện ra Đốm Trắng lớn ở gần xích đạo, kéo dài trong 4 năm.

d) Chuyển động

Các hạt bụi, các hòn đá trong các vành đai, các vệ tinh đều chuyển động quanh Thổ tinh và tuân theo 3 định luật Kepler. Trong các vệ tinh lớn, có 8 vệ tinh với chu kỳ tự quay bằng chu kỳ quay quanh hành tinh. Một số vệ tinh nhỏ quay ngược chiều quay của Thổ tinh.

e) Quá trình thám hiểm

Các phi thuyền Pioneer, Voyager đã khảo sát Thổ tinh, nhiên cứu các vành đai và các vệ tinh. Phi thuyền Cassini–Huygens đã trở thành vệ tinh nhân tạo đầu tiên của Thổ tinh.

3. Thiên tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay		Nhiệt độ bề mặt
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày
19,1914	2871,0	4,00	25.559	14,537	1,30	30n700	17h14ph	~200

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Hình III.10. Thiên tinh

Thiên tinh là hành tinh lớn thứ ba trong Hệ Mặt Trời nếu theo đường kính hay đứng thứ tư nếu theo khối lượng. Nó khó quan sát được bằng mắt thường. Về cấu tạo: chủ yếu là các chất khí ở thể lỏng. Thiên tinh có vành đai rất mờ tạo bởi những hòn đá đường kính khoảng 10m. Đến 2004, các nhà khoa học đã công nhận 27 vệ tinh của Thiên tinh.

b) Khí quyển

Ngoài phần lõi nhỏ ở giữa, khí quyển không có khí ở thể đặc ở lớp ngoài phần lõi, chủ yếu là khí ở thể lỏng tạo nên những lớp mây mỏng.

c) Chuyển động

Đặc điểm chuyển động của Thiên tinh là tự quay theo chiều ngược với chiều quay của các hành tinh lớn khác. Độ nghiêng của trục quay với quỹ đạo là 97°, nên hai cực của Thiên tinh nhận được nhiều năng lượng Mặt Trời hơn vùng xích đạo. Nguyên nhân của độ nghiêng trục quay lớn và vùng xích đạo vẫn nóng hơn hai cực hiện nay vẫn chưa được giả thích rõ. Trong số 18 vệ tinh lớn của Thiên tinh, có một số có chu kỳ quay bằng chu kỳ tự quay, có một số quay theo chiều ngược với chiều quay của hành tinh.

d) Quá trình thám hiểm

Một số phi thuyền đã bay về phía Thiên tinh. Voyager 2 bay ngang qua Thiên tinh (cách 9,1 triệu kilômét) đã khám phá ra hơn một nửa trong số 22 vệ tinh nhỏ của Thiên tinh.

4. Hải tinh

BẢNG CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN

Khoảng cách đến Mặt Trời		Bán kính xích đạo		Khối lượng	K.lượng riêng	Chu kỳ quay		Nhiệt độ bề mặt
Đvtv	10^6km	R_o	km	m_o	g/cm^3	Quanh M.Trời	Tự quay	Ban ngày
30,0611	4496,9	3,9	24.764	17,151	1,64	60n200	16h7ph	–218

a) Hình dạng, kích thước, cấu tạo

Hải tinh có màu ánh hồng do khí mêtan trong khí quyển của nó. Nó được mệnh danh là vị thần cai trị biển cả. Hải tinh có một vòng đai rất mờ. Có 13 vệ tinh được thừa nhận cho đến năm 2004.

b) Khí quyển

Hình III.11. *Hải tinh*

Ngoài phần lõi nhỏ ở giữa bằng đá và kim loại, khí quyển là một hỗn hợp gồm đá, nước, mêtan, amoniac. Tầng trên cao của khí quyển là hyđrô và hêli, càng xuống thấp tỷ lệ các chất khí khác càng tăng lên và đậm đặc cho đến khi trở thành thể lỏng ở bề mặt.

Một cơn lốc khổng lồ xảy ra trên bề mặt tạo nên Đốm Đen lớn. Gió trên Hải tinh rất mạnh, đạt vận tốc 2000km/h. Nhiệt độ trung bình là –218°C. Hải tinh vẫn toả nhiệt, có thể là do nhiệt còn dư lại từ thời sơ sinh, và đây là động cơ tạo ra các luồng gió mạnh.

c) Chuyển động

Chính Hải tinh là một hành tinh được tìm ra bởi Leverrier năm 1846 bằng con đường tính toán lý thuyết, và sau đó đêm 23/9/1846 thì Galle đã tìm thấy từ quan sát bằng kính thiên văn. Hải tinh không nhìn thấy được bằng mắt thường.

d) Quá trình thám hiểm

Cho đến năm 2005, chỉ một phi thuyền Voyager 2 bay ngang qua Hải tinh 8/1989.

IV– CÁC VỆ TINH, CÁC VÀNH ĐAI CỦA CÁC HÀNH TINH TRONG HỆ MẶT TRỜI

Đến năm 2005, có 140 vệ tinh của các hành tinh thuộc Hệ Mặt Trời đã được công nhận. Bốn hành tinh lớn đều có vành đai, tuy mức độ lớn bé, dày mỏng khác nhau.

1. Một vài đặc điểm của các vệ tinh

Các hành tinh sau đây có các vệ tinh Trái Đất (1), Hoả tinh (2), Mộc tinh (63), Thổ tinh (34), Thiên tinh (27), Hải tinh (13). Các vệ tinh cỡ lớn

thường được phát hiện cùng thời kỳ phát hiện hành tinh. Một số được phát hiện nhờ các phi thuyền vũ trụ hay kính thiên văn cỡ lớn.

Phần lớn các vệ tinh quay cùng chiều với chiều quay của hành tinh và một số có chu kỳ tự quay bằng chu kỳ quay quanh hành tinh, một số có chiều quay ngược lại.

Vệ tinh Titan của Thổ tinh có kích thước còn lớn hơn cả Thuỷ tinh. Titan là vệ tinh duy nhất trong Hệ Mặt Trời có khí quyển, thích hợp cho sự sống. Nhiều nhà khoa học cho rằng trên Titan có thể có sự sống, vì trên đó có các phân tử hữu cơ, nguồn gốc để hình thành các tế bào sống đầu tiên.

Các vệ tinh của Thổ tinh có kích thước nhỏ sẽ khó phân định với những hòn đá lớn trong vành đai của hành tinh. Một số vệ tinh có núi lửa đang hoạt động mạnh như trên vệ tinh Io của Mộc tinh. Bề mặt của Europa được bao phủ bởi một đại dương nước, với độ sâu có thể nhiều kilômét, lớp trên cùng đã bị đóng băng.

2. Các vành đai

Vành đai chỉ có ở 4 hành tinh lớn vòng ngoài. Vành đai của Thổ tinh có thể nhìn thấy được qua kính thiên văn. các vành đai của các hành tinh khác mới được phát hiện gần đây. Vành đai của các hành tinh này được tạo bởi các vành đai con, trong đó Mộc tinh (1), Thổ tinh (15), Thiên tinh (11) và Hải tinh (9).

Vành đai được tạo bởi các hạt bụi và những hòn đá nhỏ. Chúng chuyển động xung quanh hành tinh một cách độc lập và tuân theo các định luật Kepler. Một vành đai chính được nhìn thấy từ Trái Đất chứa rất nhiều vành đai con, bề dày cỡ 2km. Khoảng trống giữa các vành đai thường là một vệ tinh, do vệ tinh đã hút các hạt bụi để tạo nên khoảng trống.

Hình III.12. Hình ảnh vành đai Thổ tinh

V– TIỂU HÀNH TINH

Ngày 01/01/1801 nhà Thiên văn nghiệp dư Piatxi người Italia đã phát hiện một thiên thể nhỏ, có ánh sáng yếu di chuyển đối với các sao. Đó là tiểu hành tinh được phát hiện đầu tiên. Thiên thể này có kích thước bé so với các hành tinh đã biết, nó được gọi là tiểu hành tinh Ceres. Ceres có đường kính 940km, thuộc loại tiểu hành tinh có kích thước lớn. Hiện nay người ta phát hiện được trên 3500 tiểu hành tinh, chuyển động theo quỹ đạo elip trong vùng không gian giữa Hoả tinh và Mộc tinh (hình III.13). Một số ít tiểu hành tinh có đường kính từ 540 đến 1030km, khoảng hơn 200 tiểu hành tinh có đường kính lớn hơn 100km. Các tiểu hành tinh nhỏ có đường kính chỉ khoảng 1km. Khối lượng trung bình của tiểu hành tinh cỡ 0,01% khối lượng Trái Đất. Trước đây người ta cho rằng tổng khối lượng của các tiểu hành tinh trong Hệ Mặt Trời không lớn hơn khối lượng Mặt Trăng. Khoảng 500 tiểu hành có chu kỳ tự quay được xác định, phần lớn có chu kỳ từ 4h đến 20h.

Hình III.13. Quỹ đạo các tiêu hành tinh nằm giữa quỹ đạo Hoả tinh và Mộc tinh. Có một số tiểu hành tinh có quỹ đạo vượt ra ngoài vùng giữa Hoả tinh và Mộc tinh, đi về phía Trái Đất và Thổ tinh.

Tàu vũ trụ NEAS bay qua tiểu hành tinh Mathilde 253, chỉ cách 1200km đã thu thập được các thông tin quan trọng về tiểu hành tinh này: khối lượng 10^7kg, kích cỡ vào khoảng 46x48x66km, mật độ $1,3.10^3$kg/m^3. Mật độ nhỏ cho phép chúng ta tiên đoán rằng nó được tạo bởi đá vụn khá lỏng lẻo, với những khoảng trống giữa những hòn đá, được tích lũy từ những vụ va chạm trước đó. Trên bề mặt có miệng những núi lửa cỡ lớn do va chạm, một hố rộng 30km, sâu 6km và 4 hố núi lửa khác rộng tối thiểu 20km.

Với các thiết bị hiện đại lắp đặt trên kính vũ trụ Hubble, các nhà Thiên văn Mỹ đã phát hiện thiên thể mới, gọi là 2003 UB 313, đường kính 3000km, nằm trong vùng rìa của Thái dương hệ. Hiện tại người ta đã phát hiện nhiều thiên thể kiểu 2003 UB 313, phần lớn đều thuộc về vành đai Kuiper. Năm 2005, kính vũ trụ Hubble lại đo được kích thước của Nix (đường kính 30km) và Hydra (có đường kính 160km).

Những thiên thể mới phát hiện với số lượng nhiều và có nhiều đặc tính giống 2003UB313 nên từ năm 2003, IAU đã từ chối gọi 2003UB313 là hành tinh thứ 10.

Theo định nghĩa mới về hành tinh thì Diêm tinh được đưa ra ngoài biên chế các hành tinh của Hệ Mặt Trời. Như vậy, Diêm tinh cùng với Charon, Ceres, 2003 UB 313, các thiên thể thuộc vành đai Kuiper... nay được gọi là tiểu hành tinh hay hành tinh lùn (dwarf planets).

VI– SAO CHỔI

Sao chổi là những thiên thể nguội, kích thước nhỏ chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip rất dẹt.

Đầu sao chổi chứa OH, NH_2, CH_2, CH, Cr..., ở giữa là nhân, gồm CO_2, H_2O, NH_3 và CH_4. Dưới tác dụng của bức xạ Mặt Trời, vật chất trong sao chổi bốc hơi và khi bốc hơi nó chịu tác dụng 2 lực là áp suất ánh sáng và lực hấp dẫn. Đối với các hạt lớn thì lực hấp dẫn là chủ yếu, làm cho sao chổi chuyển động về phía Mặt Trời. Đối với các hạt nhỏ, lực đẩy của áp suất ánh sáng là chủ yếu, làm cho khí và bụi của sao chổi kéo dài ra phía sau, tạo thành đuôi. Khi

Hình III.14a. Sao chổi Halley xuất hiện ngày 12-3-1986

chuyển động càng gần Mặt Trời, sao chổi càng sáng, chuyển động càng nhanh và đuôi kéo dài càng xa về phía sau.

Hình III.14b. *Sao chổi Shoemaker – Levy chụp bằng kính viễn vọng Hubble ngày 17/5/1994, hai tháng trước khi nó va chạm vào Mộc tinh. 21 mảnh hiện trên bầu trời kéo dài trên một triệu kilômét.*

Năm 1680, E. Halley đã tiên đoán chu kỳ của một sao chổi là 76 năm và sẽ trở lại vào năm 1785. Năm 1682, sao chổi này mang tên ông. Trong thế kỷ XX, nó xuất hiện năm 1910, 6/10/ 1982 nó ở xa Trái Đất 22 đvtv, 27/11/1985, nó ở gần Trái Đất nhất, cách 0,62 đvtv và 9/2/1986 nó đi qua cận điểm, gần Mặt Trời nhất.

Hình III.15. *Vị trí của sao chổi Halley trên quỹ đạo*

Năm 1992, sao chổi Shoemaker – Levy đi gần Mộc tinh. Lực thuỷ triều hấp dẫn của Mộc tinh đã tách nó thành nhiều mảnh. Kính vũ trụ Hubble đã chụp được 21 mảnh. Tháng 7/1994, suốt trong vòng hai tuần liền, các mảnh của sao chổi đã đập vào Mộc tinh. Có thể quan

sát thấy những luồng khí phun lên do va chạm, một số hố sâu lớn có Trái Đất vẫn tồn tại tới 4 năm sau.

VII– SAO BĂNG, THIÊN THẠCH

1. Sao băng

Sao băng là vệt sáng nhìn thấy trên bầu trời do thiên thạch đi vào khí quyển Trái Đất. Vệt sáng của sao băng là do nhiệt phát sinh ra bởi sự cọ xát khi chúng đi vào khí quyển.

Thiên thạch chuyển động với vận tốc siêu thanh, nó sinh ra các sóng xung kích. Các phân tử của không khí trên đường đi của thiên thạch bị đun nóng bởi sóng xung kích hoặc bị nén quá mạnh. Nhiệt độ tăng lên đến hàng ngàn độ và làm cho các thành phần vật chất của thiên thạch bị nung nóng sáng.

Sao băng xuất hiện nhiều trong một số thời điểm trong năm và có thể quan sát hàng trăm sao băng trong một giờ, nhất là khi Trái Đất đi qua một đám mây các hạt tàn dư từ một sao chổi phân rã.

Hình III.16. Hình ảnh mưa sao băng

Mỗi năm có khoảng 40000 tấn bụi vũ trụ rơi xuống Trái Đất. Phân tích hàm lượng chất đồng vị hêli (He^{-3}) trong các bụi vũ trụ tìm thấy trong mẫu băng ở Nam Cực, các nhà khoa học thấy rằng các hạt bụi vũ trụ thu nhận các nguyên tử hêli khi tiếp xúc với gió Mặt Trời và mang theo chất đồng vị rất hiếm này xuống Trái Đất. So sánh nồng độ He^{-3} này với nồng độ He^{-4} có nhiều trên Trái Đất, các nhà khoa học đã theo dõi được sự thay đổi theo thời gian của các luồng hêli giữa các giai đoạn đóng băng và ấm lên ở Nam Cực.

2. Thiên thạch

Thiên thạch (đá trời) là những tảng đá lớn, những mảnh vụn và bụi của đuôi sao chổi trong Hệ Mặt Trời hoặc trong vũ trụ, bị sức hút của Trái Đất, rơi vào bầu khí quyển dày đặc và bốc cháy. Những vật lớn không cháy hết rơi vào bề mặt Trái Đất. Trung bình hàng năm có vài trăm thiên thạch rơi xuống mặt đất. Tuỳ theo thành phần cấu tạo mà người ta chia làm 2 loại: thiên thạch sắt (90% là sắt) và thiên thạch đá (thành phần chủ yếu là đá).

Khi rơi xuống bề mặt Trái Đất, nếu thiên thạch lớn thì nó sẽ để lại một hố sâu lớn, gọi là hố thiên thạch. Nếu rơi ở đại dương, nó sẽ gây ra đợt sóng thần ghê gớm. Nếu rơi ở đất liền, nó sẽ gây nên những cơn lốc xoáy thổi với vận tốc hàng trăm kilômét/giờ.

Trong lịch sử, Trái Đất đã gặp một số vụ va chạm thiên thạch lớn. Sự tiệt chủng 85% loài sinh vật biển và 70% các loài động vật trên cạn là do vụ va chạm với một thiên thạch lớn cách đây 251 triệu năm.

214 triệu năm trước, khi đó châu Âu, châu Mỹ, châu Phi chưa tách ra, một thiên thạch đã rơi xuống, vỡ tan thành nhiều mảnh, đào 5 hố sâu, còn vết tích tận ngày nay: Hố Rôxơmoa ở Pháp, hố Manicugan xa Xanh Mactanh ở Canada, hố Ôbôlông ở Ucraina, hố Ret Uyn ở Mỹ.

Một thiên thạch có đường kính 10km va vào Trái Đất cách đây 65 triệu năm ở vịnh Mêhicô đã làm 2/3 loài sinh vật và vi sinh vật trên đất liền và trong đại đương (trong đó có loài khủng long) bị huỷ diệt.

Những vụ va chạm nhỏ cũng thường xảy ra trên Trái Đất 6/1908 ở Tunguska, Xibêri, vụ va chạm đã làm đổ tung cây cối giống như tàn phá của một quả bom khổng lồ. Ngày 23/3/1989, một tiểu hành tinh có đường kính 1km đã bay ngang gần Trái Đất, cách Trái Đất bằng 2 lần khoảng cách Trái Đất – Mặt Trăng.

Trong tương lai gần, chúng ta có thể phát hiện các thiên thạch cỡ 200m trở lên thường lui tới Trái Đất một cách có quy luật.

20 năm trước, các nhà khoa học cho rằng, Hệ Mặt Trời và sự sống trên Trái Đất tiến hoá dần dần, rất chậm và không đột biến. Bây giờ chúng ta đang chứng kiến một Hệ Mặt Trời biến đổi dữ dội, một sự sống trên Trái Đất đang biến đổi dữ dội và khoa học cũng thay đổi một cách không liên tục.

Hình III.17. Hình ảnh về hố thiên thạch

Hình III.18. Thiên thạch

BÀI TẬP CHƯƠNG III

3.1. Dựa vào các số liệu trong dãy số Tixius – Bode, so sánh độ sáng của Mặt Trời chiếu vuông góc lên cùng một đơn vị diện tích tại bề mặt của Thuỷ tinh, Kim tinh, Hoả tinh, Mộc tinh, Thổ tinh với Trái Đất.

3.2. Hoả tinh cách Mặt Trời $2,28.10^{11}$m, tự quay với chu kỳ bằng 1 ngày trên Trái Đất, có khối lượng riêng $\rho = 3,9.10^3 kg/m^3$, bán kính R = $3,393.10^6$m. Albedo của Hoả tinh là 0,16. Xem Mặt Trời có bán kính $R_o = 6,96.10^8$m, nhiệt độ quang cầu là 5800K.

a) Tính nhiệt độ trên bề mặt Hoả tinh.

b) Nếu trạm thăm dò cho kết quả đo nhiệt độ bề mặt Hoả tinh là 302K và Hoả tinh có lớp khí quyển mỏng nhưng đa phần là CO_2 có hợp lý không?

3.3. Xây dựng thuật toán để kiểm tra hành tinh hay vệ tinh có khả năng tồn tại khí quyển hay không.

3.4. Hãy tính vận tốc chuyển động nhiệt trung bình của nguyên tử hyđrô và của của phân tử nước trên bề mặt Mặt Trăng. Liệu chúng có thể thoát khỏi Mặt Trăng? Nhiệt độ trung bình trên bề mặt Mặt Trăng là 380K và vận tốc thoát của Mặt Trăng là 2,4km/s.

3.5. Xét hệ Mặt Trời – Trái Đất – Mặt Trăng với các số liệu sau:

Khối lượng của Mặt Trời: $M_T = 1,99.10^{30}$kg,

Khối lượng của Trái Đất: $M_D = 5,97.10^{24}$kg,

Khối lượng của Mặt Trăng: $M_t = 1/81\ M_D$.

Khối lượng riêng của Trái Đất: $\rho_D = 5,52.10^3 \frac{kg}{m^3}$,

Khối lượng riêng của Mặt Trăng: $\rho_t = 3,34.10^3 \frac{kg}{m^3}$.

Bán kính Trái Đất: $R_D = 6,378.10^8$m.

Khoảng cách Trái Đất – Mặt Trời: $D = 1,496.10^{11}$m.

Khoảng cách Mặt Trăng – Trái Đất: $d = 3,84.10^8$m.

Hình III.19

a) Chỉ ra vị trí của Mặt Trăng so với tâm Trái Đất để lực hấp dẫn của các phần tử thuộc Mặt Trăng với nhau nhỏ hơn lực thuỷ triều do Trái Đất gây ra trên Mặt Trăng. Vị trí đó được gọi là giới hạn Rôsê (Rocher).

b) Chỉ ra vị trí từ đó Mặt Trăng rời bỏ Trái Đất để đi về phía Mặt Trời. Vị trí này được gọi là giới hạn không bền của Mặt Trăng.

3.6. Hành tinh nào có thay đổi thời tiết theo mùa như trên Trái Đất. Tại sao?

3.7. Mô tả các đặc điểm khí hậu trên Mộc tinh, biết rằng trục quay của nó hầu như thẳng góc với mặt phẳng quỹ đạo của nó.

3.8. Hãy xuất phát từ điều kiện để hành tinh có khí quyển giải thích tại sao các hành tinh khác nhau lại có thành phần khí quyển không giống nhau?

3.9. Tính hiệu ứng thuỷ triều do Mộc tinh (hành tinh lớn nhất trong Hệ Mặt Trời) và Kim tinh (hành tinh gần Trái Đất nhất) gây ra trên Trái Đất, khi 2 hành tinh này cùng phía với Trái Đất. So sánh chúng với thuỷ triều do Mặt Trăng gây ra?

3.10. Hình III. 20 mô tả các miệng núi lửa trên Mặt Trăng do thiên thạch va chạm vào tạo thành. Hãy đoán xem miệng nào già nhất và miệng nào là trẻ nhất. Tại sao? Muốn phỏng đoán này là tin cậy thì trên Mặt Trăng có thể có khí quyển như trên Trái Đất không?

Hình III. 20

3.11. Mặt Trăng có khối lượng riêng $\rho = 3,34.10^3 \frac{kg}{m^3}$. Xem rằng giá trị này trùng với khối lượng riêng của đá. Vệ tinh Ganimet của Mộc tinh có khối lượng riêng khoảng $2.10^3 kg/m^3$ và kết quả quan sát cho thấy nó là hỗn hợp của đá và băng. Hãy ước tính tỷ lệ giữa đá và băng trong vệ tinh đó?

3.12. Hãy ước tính động năng của một tiểu hành tinh có bán kính 1km, mật độ $4.10^3 kg/m^3$ và tốc độ tương đối đối với Trái Đất là 20km/s. So sánh năng lượng đó với năng lượng quả bom lớn nhất đã từng nổ trên Trái Đất, khoảng 4.10^{17}J.

3.13. Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời với chu kỳ một năm theo đường tròn bán kính 1 đvtv. Sao chổi Halley chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo có tâm sai e = 0,9673, chu kỳ 76 năm.

a) Tính bán trục lớn quỹ đạo sao chổi.

b) Sử dụng số liệu về sao chổi ($G = 6,67.10^{-11}$ Nm^2/kg^2) ước tính khối lượng Mặt Trời.

c) Tính tỷ số động năng của sao chổi khi nó ở cận điểm và viễn điểm.

3.14. Các thiên thạch bằng sắt đâm vào lòng Trái Đất đến độ sâu đo bằng xăngtimet được tính theo công thức gần đúng: $L = 18,3\sqrt[3]{M}$. M là khối lượng của thiên thạch tính bằng kilôgam. Tính độ sâu L đối với các thiên thạch có khối lượng 0,1 và 100kg.

3.15. Tính bề rộng của dòng sao băng Pecxeit bằng kilômét, biết rằng người ta quan sát được dòng sao băng này từ 16/7 đến 22/8.

3.16. Tính xem bao nhiêu phần trăm năng lượng chuyển động của một thiên thạch đang bay với vận tốc 60km/s đủ để làm cho nó tan thành hơi trong khí quyển, nếu để làm tan 1g thiên thạch cần một năng lượng 10^2J. Phần động năng còn lại của thiên thạch biến đi đâu?

Chương IV

SỰ HÌNH THÀNH HỆ MẶT TRỜI

I– LỊCH SỬ PHÁT TRIỂN CÁC MÔ HÌNH VỀ HỆ MẶT TRỜI

Thông qua việc quan sát chuyển động nhìn thấy của Mặt Trời và các hành tinh, việc mô phỏng Hệ Mặt Trời đã được chú ý từ thời cổ đại. Thời cổ Hy Lạp, khoảng năm 280 trước công nguyên, đã đề xướng mô hình các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời. Những đặc điểm của hệ hành tinh này là:

– Quỹ đạo của các hành tinh là những đường cong khép kín và đều nằm trong mặt phẳng quỹ đạo của Trái Đất.

– Quỹ đạo của các hành tinh gần như tròn.

– Hầu hết các hành tinh cùng quay cùng chiều với chiều quay của Trái Đất.

Do mô hình địa tâm phù hợp với cảm giác nên mô hình Mặt Trời là trung tâm này đã bị lãng quên.

Năm 1543, mô hình Hệ nhật tâm của Nicholas Copernicus ra đời và đã khẳng định thêm rằng: các hành tinh quay quanh Mặt Trời, cùng chiều với chiều tự quay của nó và kích cỡ của Hệ Mặt Trời là nhỏ so với khoảng cách giữa các sao. Các nhà khoa học Kepler, Galileo và Newton, với các công trình khoa học của mình, đã ủng hộ những quan điểm đúng đắn của Copernicus.

Trong thế kỷ XVII, XVIII đã có các giả thiết khác nhau về sự hình thành Hệ Mặt Trời: của Descartes (1644), của Kant (1755), của Laplace (1796)... Tuy nhiên, các giả thuyết này chỉ dựa trên sự vận động cơ học của các hành tinh nên không toàn diện, chưa cho phép giải thích đầy đủ các đặc điểm cấu trúc và chuyển động của Hệ Mặt Trời.

Đầu thế kỷ XX, các nhà Thiên văn bắt đầu chú ý đến vấn đề bảo toàn mômen động lượng trong Hệ Mặt Trời. Mặt Trời với khối lượng bằng 99.8% khối lượng của hệ, nhưng mômen động lượng chỉ chiếm gần 2%. Nửa sau thế kỷ XX, các nhà khoa học đã xây dựng các lý thuyết mới, dựa trên những số liệu quan trắc mới, về tuổi của các thiên thể, về các tính chất của đồng vị và tinh thể học, sự vận động khác như điện từ, hạt nhân...

Theo các mô hình đã có hiện nay, sự hình thành của Hệ Mặt Trời

được tập trung vào lý thuyết về tinh vân. Từ một đám mây bụi và khí giữa các sao mà hình thành nên Mặt Trời và các hành tinh. Ta xét các mô hình chính dựa trên các giả thuyết: giả thuyết về động lực học và giả thuyết về hoá học.

II– GIẢ THUYẾT VỀ ĐỘNG LỰC HỌC

Mô hình Hệ Mặt Trời tuân thủ các đặc trưng động lực học. Nếu ta nhìn hệ hành tinh từ phía cực bắc của Mặt Trời thì:

– Các hành tinh chuyển động quanh Mặt Trời cùng chiều với chiều quay của Mặt Trời.

– Trừ Thuỷ tinh, quỹ đạo của các hành tinh gần như tròn và đều nghiêng với mặt phẳng xích đạo của hành tinh một góc nhỏ.

– Trừ Kim tinh và Thiên tinh, hầu hết các hành tinh quay theo chiều thuận từ tây sang đông.

– Khoảng cách nhật tâm đến các hành tinh tuân theo quy tắc đều đặn, nghĩa là khoảng cách nhật tâm của một hành tinh gần như gấp đôi khoảng cách nhật tâm của hành tinh trước đó.

– Hầu hết các vệ tinh của các hành tinh chuyển động theo chiều chuyển động của hành tinh và gần như trong cùng mặt phẳng xích đạo của hành tinh.

– Các hành tinh có mômen động lượng lớn hơn mômen động lượng của Mặt Trời.

– Hướng và góc của quỹ đạo sao chổi chu kỳ dài khác với quỹ đạo của các hành tinh, vệ tinh, tiểu hành tinh và sao chổi chu kỳ ngắn.

Từ các đặc điểm trên đây, mô hình về đám tinh vân cho rằng Mặt Trời và các hành tinh được hình thành từ một đám mây vật chất ở giữa các sao. Mặt Trời được hình thành ở tâm, còn các hành tinh được hình thành từ đĩa của đám mây dẹt.

Ngoài vận động cơ học, người ta còn chú ý đến các loại tương tác khác như điện từ, hạt nhân. Để xoá bỏ mâu thuẫn về quy luật phân bố mômen động lượng, người ta cho rằng khi phôi sao (phôi Mặt Trời) đạt tới một khối lượng riêng đủ lớn nào đó thì sự trao đổi mômen động lượng với vành phôi hành tinh diễn ra rất chậm. Do tiếp tục co, phôi sao có vận tốc quay tăng nhanh và dẫn đến tình trạng bất ổn

định xoắn. Đối với phôi Mặt Trời thì tình trạng này diễn ra khi bán kính của nó có giá trị vào khoảng bán kính quỹ đạo của Thuỷ tinh. Lúc này, từ xích đạo của phôi Mặt Trời một dòng vật chất được phun ra dần dần tạo thành một đám mây vật chất bao quanh dưới dạng đĩa (phôi hành tinh). Với giả thuyết phôi Mặt Trời có từ trường như từ trường của một lưỡng cực và một phần vật chất của phôi hành tinh ở trạng thái ion thì sự chuyển động quay của dòng vật chất ion hoá này cắt các đường cảm ứng từ, làm uốn cong các đường cảm ứng từ. Do vận tốc góc của phôi Mặt Trời lớn hơn vận tốc góc của phôi hành tinh mà các đường cảm ứng từ bị xoắn lại. Phôi hành tinh được tăng tốc còn phôi Mặt Trời thì bị quay chậm lại. Phôi Mặt Trời giảm vận tốc quay tới một mức nào đó thì sự bất ổn định xoắn kết thúc, dòng vật chất ngừng hoạt động và đĩa phôi hành tinh được hình thành, tách ra từ phôi Mặt Trời.

Hình IV.1

III– GIẢ THUYẾT VỀ HOÁ HỌC

Các hành tinh được hình thành theo một quá trình gồm nhiều giai đoạn. Các hạt cứng, lớn được tích tụ lại từ một đám mây tinh vân của Mặt Trời và lớn dần lên tạo nên hành tinh. Ở tâm của tinh vân có nhiệt độ cỡ vài ngàn độ bách phân, các hạt lớn như sắt, silicat sẽ không tích tụ. Những nơi khác, vật chất sẽ tích tụ lại và quá trình tích tụ phụ thuộc vào nhiệt độ. Ví dụ, dưới 200K, các hạt tích tụ lại thành vật chất của kiểu nhóm Trái Đất. Mật độ và thành phần của hành tinh được xác định bởi quá trình tích tụ khi nhiệt độ giảm từ tâm ra ngoài. Ở những khoảng cách khác nhau từ Mặt Trời, nhiệt độ khác nhau dẫn đến thành phần hoá học khác nhau và sự tích tụ sẽ tạo nên những hành tinh khác nhau (hình IV.2).

Các hợp chất	Nhiệt độ (K)
Al_2O_3	1743
Fe – Si	1458
Mg_2SiO_4	1433
Al_2SiO_5	1067
FeS	703
Fe_3O_4	403
Hợp chất các cacbonat	733 – 473
Hyrat Mg	273 – 373
Nước đá	<273

Hình IV.2. Sự phụ thuộc giữa khoảng cách và nhiệt độ

IV– GIẢ THUYẾT VỀ SỰ BỒI ĐẮP

Một tích tụ lớn được phát triển từ một khối lượng lớn. Quá trình phát triển lớn lên của tích tụ đi từ 2 đặc trưng vật lý cụ thể:

– Sự lớn lên do va chạm và kết dính vào nhau, được xác định bởi tiết diện hình học.

– Sự lớn lên do va chạm bởi lực hút hấp dẫn, được xác định bởi tiết diện hấp dẫn.

Khảo sát một hệ gồm 2 hạt. Hạt khảo sát có khối lượng m đến va chạm vào hạt có khối lượng M. Hai hạt trước khi va chạm cách nhau một khoảng S. Vận tốc của hạt khảo sát trước khi va chạm là V_o và khi va chạm là V. Bán kính va chạm là R. Giả sử S >> R. Như vậy, tiết diện hình học là πR^2 và tiết diện hấp dẫn là πS^2. Có thể xem thế năng của hạt m tại S bằng không (hình IV.3).

Hình IV.3

Mômen động lượng và năng lượng của hạt m được bảo toàn, nghĩa là:

$$VR = V_oS \text{ và } \frac{mV^2}{2} = \frac{mV_o^2}{2} + G\frac{mM}{R} \quad \text{(IV.1)}$$

Hay $$\frac{V^2}{2} = \frac{V_o^2}{2} + G\frac{M}{R} \text{ và } V = (V_o + 2G\frac{M}{R})^{\frac{1}{2}} \quad \text{(IV.2)}$$

Từ đó ta được:

$$V_oS = (V_o^2 + 2G\frac{M}{2})^{\frac{1}{2}}R \quad \text{(IV.3)}$$

$$S = (\frac{R}{V_o})(V_o^2 + 2G\frac{M}{R})^{\frac{1}{2}} = (R^2 + 2G\frac{MR}{V_o^2})^{\frac{1}{2}} \quad \text{(IV.4)}$$

Đây là phương trình biểu diễn thông số va chạm hấp dẫn, là tổng của số hạng hình học và số hạng hấp dẫn.

Giả sử sau va chạm, hai hạt kết dính vào nhau và hạt được bù đắp bởi lượng vật chất có cùng mật độ ρ và khi đó mật độ của hạt vẫn không thay đổi.

Như vậy: $$\frac{dM}{dt} = \frac{d}{dt}\left[\rho\frac{4\pi R^3}{3}\right] = 4\pi\rho R^2\frac{dR}{dt} \quad \text{(IV.5)}$$

Sự va chạm phụ thuộc vào vận tốc V, tiết diện hấp dẫn S và mật độ của các hạt khác ρ_o, nghĩa là:

$\frac{dM}{dt} \in$ (vận tốc).(mật độ của các hạt khác ρ_o) (tiết diện hấp dẫn)

$$\frac{dM}{dt} = V_o\rho_o\pi S^2 = V_o\rho_o\pi(R^2 + 2G\frac{MR}{V_o^2}) = V_o\rho_o\pi R^2 + \frac{2\pi\rho_o GMR}{V_o} \quad \text{(IV.6)}$$

Bỏ qua số hạng hình học so với số hạng hấp dẫn, ta có:

$$\frac{dM}{dt} \approx \frac{2\pi\rho_o GMR}{V_o} = \frac{2\pi G\rho_o^2}{V_o}(\frac{4}{3}\pi R^3).R \quad \text{(IV.7)}$$

hay $$\frac{dM}{dt} \propto R^4 \quad \text{(IV.8)}$$

Khi số hạt hấp dẫn lớn hơn 2 lần số hạng hình học, thì $S^2 = 2R^2$.

$$S = 2^{\frac{1}{2}}R = (R^2 + \frac{2GMR}{V_o^2})^{\frac{1}{2}} \Rightarrow S^2 = R^2 + \frac{2GMR}{V_o^2} = 2R^2 \quad \text{(IV.9)}$$

Do đó: $$R^2 = 2GM\frac{R}{V_o^2} \text{ và } R = \frac{2GM}{V_o^2} = \frac{2G}{V_o^2}(\frac{4}{3}\pi\rho R^3)$$

Hay: $$1 = \frac{8G}{3V_o^2}\pi\rho R^2 \Rightarrow R = \left(\frac{3V_o^2}{8\pi G\rho}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{(IV.10)}$$

Cho V_o = 1km/s và ρ = 3000kg/m^3 thì R ≈ 1000km. Những vật thể có bán kính hình học lớn hơn R thì sẽ tích tụ thành hành tinh.

V– XÁC ĐỊNH TUỔI CỦA HÀNH TINH

Việc xác định tuổi của các hành tinh được thực hiện từ việc nghiên cứu các chất phóng xạ lấy từ trong lòng của hành tinh. Ta biết rằng, các hiện tượng phóng xạ của các nguyên tố hoá học diễn ra theo quy luật xác định, không phụ thuộc vào điều kiện bên ngoài.

Mỗi đồng vị phóng xạ được đặc trưng bởi chu kỳ bán rã T của nó.

Giả sử ở thời điểm ban đầu (t = 0) có N_o nguyên tử của một đồng vị phóng xạ nào đó. Sau một chu kỳ bán rã, số nguyên tử giảm đi một nửa:

$$N_{(T)} = \frac{N_o}{2} \quad \text{(IV.11)}$$

Sau thời gian t, số nguyên tử chưa phân rã là:

$$N_{(t)} = N_0 e^{-\ln 2\frac{t}{T}} = N_o e^{\frac{-t}{1,44T}} \quad \text{(IV.12)}$$

Số nguyên tử mới được tạo thành do kết quả của phân rã sau thời gian t là:

$$N_p = N_0 - N_{(t)} = N_o(1 - e^{\frac{-t}{1,44T}}) \quad \text{(IV.13)}$$

và $$N_o = N_{(t)} + N_p \quad \text{(IV.14)}$$

Từ đó ta thu được thời gian t là:

$$t = 3,32T\lg\left[1 + \frac{N_p}{N_{(t)}}\right] \quad \text{(IV.15)}$$

Đối với một số nguyên tố phóng xạ người ta đã biết được chu kỳ bán rã T. Bằng phân tích, ta tính được tỷ số $N_{(p)}/N_{(t)}$ và xác định được tuổi của mẫu vật chất nguyên tố phóng xạ được khảo sát.

Đối với Trái Đất, người ta thường sử dụng đồng vị phóng xạ Urani 238 và Urani 235, chúng chiếm khoảng 0,0003% vật chất cấu tạo nên vỏ Trái Đất. Chu kỳ bán rã của U^{235} là 0,71 tỷ năm, của U^{238} là 4,51 tỷ năm. Kết quả của sự phân rã là tạo ra đồng vị chì:

$$U^{235} \rightarrow Pb^{207} + 7He^4$$

$$U^{238} \rightarrow Pb^{206} + 8He^4$$

Qua khảo sát nhiều đồng vị phóng xạ khác nhau người ta kết luận tuổi của Trái Đất là: $(4,55 \pm 0,07)$ tỷ năm.

VI– QUÁ TRÌNH TIẾN HOÁ CỦA HỆ MẶT TRỜI

1. Sự ra đời của Hệ Mặt Trời

Đầu thế kỷ XX, chúng ta còn hoàn toàn chưa biết đến dải Ngân Hà và Hệ Mặt Trời của chúng ta có quy mô đến mức nào. Tuy nhiên, từ nửa sau của thế kỷ này, vũ trụ học thực sự đã trở thành một khoa học chính xác, dựa trên các quan sát chặt chẽ chứ không phải xuất phát từ những tư biện triết học và sự suy đoán siêu hình.

Vũ trụ của của thế kỷ XX là vũ trụ của Big Bang. Các nhà vũ trụ học cho rằng vũ trụ đã khởi đầu từ sự tồn tại của mình bằng một vụ nổ lớn (Big Bang), xuất phát từ một trạng thái cực nhỏ, cực nóng và đặc.

Thuyết vũ trụ Big Bang dựa trên các định luật vật lý của những vật vô cùng lớn (thuyết tương đối), những vật vô cùng nhỏ (cơ học lượng tử) cùng với sự quan sát thiên văn (sự chạy xa ra của các thiên hà, bức xạ tàn dư) và sự phong phú của các nguyên tố. Với tri thức hiện tại, con người chưa thể bắt đầu lịch sử vũ trụ từ "điểm zêrô", tức là ngay từ thời điểm tạo ra không gian và thời gian. Chúng ta mới hiểu được vũ trụ từ thời điểm 10^{-43}s sau vụ nổ Big Bang. Ở thời điểm 10^{-43}s sau vụ nổ, vũ trụ mà chúng ta quan sát được ngày hôm nay chỉ có đường kính 10^{-33}cm (nhỏ hơn 10 triệu tỷ tỷ lần nguyên tử hyđrô), nóng tới 10^{32}K và đặc tới 10^{99}kg/m^3 (gấp 10^{96} tỷ trọng của nước) và năng lượng vô cùng lớn (tương đương với một máy gia tốc hạt trải dài đến vài ba năm ánh sáng). Trạng thái nén và mật độ lớn này đã làm cho lực hấp dẫn thường bỏ qua trong thang vi mô lại trở nên quan trọng như các loại lực hạt nhân mạnh và yếu cùng với lực điện từ. Thời điểm 10^{-43}s gọi là thời điểm Planck. Trong không gian Planck (ở từ 10^{-43}s trở về trước của vụ nổ) vật lý học chưa mô tả được trạng thái của các nguyên tử và ánh sáng khi lực hấp dẫn trở nên lớn. Các nhà khoa học cho rằng, 4 lực chi phối thế giới hiện nay (lực hấp dẫn, lực hạt nhân mạnh, yếu và lực điện từ) chỉ là một phương diện khác nhau của một lực duy nhất và họ đang nỗ lực tìm ra một "lý thuyết thống nhất" chung cho 4 loại lực đó.

Cuộc hôn phối của lực điện từ với 2 lực hạt nhân mạnh và yếu đòi hỏi ở những điều kiện khá đặc biệt. Nó chỉ tồn tại trong một môi trường cực nóng, trong đó năng lượng của các hạt sơ cấp cực kỳ cao, như trong

những khoảnh khắc đầu tiên của vũ trụ. Nhiệt và năng lượng là những yếu tố phải có cho sự gắn kết 4 loại lực đó trở nên bền vững. Ở thời điểm 10^{-41}s sau vụ nổ lớn, 4 lực cơ bản của tự nhiên đó đã được hợp nhất thành một lực duy nhất. Khi vũ trụ lạnh tới một nhiệt độ nào đó thì sự liên minh này bị phá vỡ. Điều này đã diễn ra trong quá trình giãn nở của vũ trụ và hiện nay, các loại lực đó đã trở thành tồn tại độc lập. Sự lạnh lẽo của vũ trụ đã tiêu hủy sự gắn kết giữa chúng.

Những kiến thức vật lý đã có chưa thể ngoại suy cho tới trước giới hạn Planck vì chưa có được một lý thuyết lượng tử của hấp dẫn. Hiện nay, sự thống nhất giữa lực điện từ với các lực hạt nhân mạnh và yếu đã được thực hiện, tạo nên lực điện hạt nhân. Tuy nhiên, sự thống nhất của cơ học lượng tử với thuyết hấp dẫn hiện thời vẫn là rào cản ngăn cách chúng ta vượt qua bức tường Planck để đi đến điểm xuất phát của vũ trụ.

Theo mức độ thời gian, vũ trụ giãn nở và lạnh đi. Pha lạm phát bắt đầu, tức là thời kỳ vũ trụ nở to ra theo hàm số mũ, bắt đầu từ 10^{-35}s và kết thúc ở 10^{-32}s. Trong thời kỳ này, vũ trụ đã nở to ra 10^{50} lần và lực hạt nhân mạnh và yếu đã tách nhau ra, đồng thời các hạt quark, electron, nơtrinô và những phản hạt của chúng đã xuất hiện từ chân không. Đó là mầm mống cho sự hình thành các thiên hà sau này. Ở thời điểm 10^{-32} s, lực hạt nhân yếu và lực điện từ tách nhau ra. Các hạt quark, electron, nơtrinô, photon và các phản hạt của chúng tồn tại cho đến 10^{-6}s. Tại 10^{-6}s, có sự phân huỷ lớn các proton và nơtron với các phản hạt của chúng. Khi vũ trụ đã khá lạnh, các electron kết hợp với các hạt nhân để tạo thành các nguyên tử hyđrô và hêli. Quá trình này kéo theo sự phát bức xạ tàn dư mà chúng ta hiện nay quan sát được ở nhiệt độ 3K. Sự kết hợp của các electron với hạt nhân đã không ngăn cản các photon truyền đi nữa. Vũ trụ trở nên trong suốt. Những quaza và các phôi thiên hà đầu tiên được hình thành.

Thời gian cứ trôi đi. Cách đây khoảng hơn 4,5 tỷ năm, trong hàng trăm tỷ các thiên hà đã được hình thành, có dải Ngân hà – thiên hà của chúng ta. Nằm ở hai phần ba khoảng cách từ tâm của Ngân hà có một đám mây giữa các vì sao có kích thước hàng ngàn tỷ kilômét đang co lại. Nhiệt độ ở tâm đám mây tăng dần. Từ vài chục độ, sau vài triệu năm, nó đã đạt tới 10 triệu độ. Khi co lại, đám mây này dẹt đi, tâm của nó trở nên đặc và nóng đủ điều kiện để xảy ra phản ứng nhiệt hạt nhân. Đám mây khí phát sáng và trở thành một ngôi sao. Đó là Mặt Trời. Khí ít đặc hơn ở mép đám mây đến lượt mình cũng

ngưng tụ lại. Những hạt lớn quay xung quanh Mặt Trời hút các hạt nhỏ hơn và lớn dần. Khối lượng của chúng tăng dần: 1g, 1kg, 1 tấn rồi hàng tỷ tấn... Các hành tinh được hình thành. Xung quanh các hành tinh, vật chất lại được tích tụ và trở thành các vệ tinh của các tiểu hành tinh. Trái Đất cùng với vệ tinh của mình là Mặt Trăng đang quay quanh Mặt Trời, như các hành tinh khác. Những hạt còn lại trở thành các tiểu hành tinh, thiên thạch. Hệ Mặt Trời ra đời (hình IV.4).

Hình IV.4. Quá trình hình thành Hệ Mặt Trời

2. Quá trình hình thành sự sống

Một tỷ năm sau khi Hệ Mặt Trời ra đời, Trái Đất đã lạnh đi rất nhiều. Trên bề mặt của đại dương dung nham xuất hiện những khối đá xám – mầm mống của các lục địa. Lớp dung nham hoá rắn cứ rộng dần ra và phủ kín 30% bề mặt Trái Đất. Trong quá trình hoá rắn, dung nham lại thải ra một lượng lớn khí chứa trong nó. Bầu khí quyển của Trái Đất lúc này dày gấp 100 lần bầu khí quyển hiện nay, chứa chủ yếu là hyđrô, amoniac (NH_3), mêtan (CH_4), nước (H_2O) và khí cacbonic (CO_2), rất độc cho sự sống. Nước trong bầu khí quyển nguyên sơ bắt đầu ngưng tụ và tạo thành mưa. Cuối cùng, các đại dương cũng được hình thành, và đã chiếm 3/4 diện tích bề mặt Trái Đất. Ôxy đang bị cầm tù trong nước, khí quyển chưa có tầng ôzôn (O_3). Các tia tử ngoại từ Mặt Trời xuyên qua lớp khí quyển, tương tác với các hạt tích điện năng lượng cao. Sấm sét trong các cơn dông thường xuyên nổ ra, các phân tử trong khí quyển va chạm nhau mạnh

liệt hơn. Các axít amin xuất hiện. Nhờ mưa, các chất hữu cơ hoà tan dần trong các đại dương. Các axít amin kết hợp lại thành những chuỗi dài, thành các protein. Protein lại sản sinh ra các phân tử AND. Các tế bào chứa tới hàng triệu phân tử AND ra đời. Các vi khuẩn và tảo xanh, những cơ thể sống đơn bào nảy nở trong các đại dương. Khoảng 600 triệu năm về trước, sứa xuất hiện. 500 triệu năm trước, sò xuất hiện. Khoảng 450 triệu năm về trước, cá ra đời và mặt đất đã được rừng phủ lên, quá trình quang hợp đã sản sinh ra ôxy. Tầng ôzôn hình thành, ngăn cản các bức xạ tử ngoại của Mặt Trời. Ba trăm triệu năm về trước, chim và động vật bò sát xuất hiện. Sau đó là loài khủng long. Người ta cho rằng, khoảng 65 triệu năm về trước, một thiên thạch đường kính hàng chục kilômét đã rơi xuống Trái Đất làm tiêu diệt loài khủng long. Bụi mù bay vào khí quyển đã ngăn cản ánh sáng Mặt Trời, cây cối không quang hợp được và các loài thực vật bị chết. Khi các lớp bụi đã rơi hết xuống mặt đất và ánh sáng Mặt Trời lại sưởi ấm mặt đất, các thảm cỏ xanh tốt được mọc lên, động vật có vú đã xuất hiện 100 triệu năm trước vẫn được tồn tại và tiến hoá tiếp. 20 triệu năm trước, loài khỉ xuất hiện. 2 triệu năm trước, loài người Homo Saplens đầu tiên xuất hiện và ngày nay là loài người hiện đại, có trí tuệ đang chinh phục hành tinh chúng ta (hình IV.5.a, b).

Hình IV.5a

Hình IV.5b

BÀI TẬP CHƯƠNG IV

Sự hình thành Hệ Mặt Trời

4.1. Hãy tưởng tượng có một đám mây khí hình cầu khối lượng M, bán kính r và mật độ đồng đều ρ. Không có áp suất, chỉ có lực hấp dẫn. Mỗi mẩu khí rơi vào tâm hình cầu sao cho mật độ khí vẫn đồng nhất. Ở đây ta ước tính cần bao nhiêu thời gian cho sự sụp đổ này?

a) Phép phân tích thứ nguyên: Viết phương trình chuyển động (gia tốc vật lý bằng gia tốc hấp dẫn) cho một phần tử khí ở bề mặt đám mây theo M, r và thời gian t. Nhìn vào phương trình để tìm thứ nguyên của hằng số hấp dẫn G biểu diễn qua đơn vị đo của khối lượng, khoảng cách và thời gian. G phải được nhân với đại lượng nào (M, r hay ρ) để tích số thu được chỉ liên quan đến đơn vị đo của thời gian. Tích đó phải được nâng lên lũy thừa bao nhiêu để nó có thực sự thứ nguyên của thời gian? Đặt đại lượng này cân bằng với thời gian cần thiết để mây đó suy sụp dưới tác dụng bởi lực hấp dẫn của chính nó.

b) Tính thời gian tạo thành Hệ Mặt Trời nếu Hệ Mặt Trời xuất phát từ một đám khí có khối lượng gấp 2 lần khối lượng Mặt Trời, trong một hình cầu có bán kính 10^3 đvtv.

4.2. Các đồng vị ^{13}C và ^{12}C biểu hiện như nhau về mặt hoá học. Tính chất hoặc biểu hiện vật lý nào là khác nhau để tỷ lệ đồng vị ở một nơi này có thể khác tỷ lệ đồng vị ở nơi khác.

4.3. Một hòn quặng, trong đó số nguyên tử ^{40}Ar nhiều gấp 7 lần số nguyên tử ^{40}K, có tuổi khoảng bao nhiêu nếu chu kỳ bán rã của ^{40}K là $1,3.10^9$ năm.

4.4. Từ khi hình thành đến nay, Mặt Trời (và cả Hệ Mặt Trời) đã quay quanh tâm thiên hà bao nhiêu lần? Biết rằng Mặt Trời cách tâm Thiên hà $24,69.10^{19}$m và dịch chuyển quanh tâm Thiên hà với vận tốc 200km/s.

PHẦN THỨ HAI

VẬT LÝ MẶT TRỜI VÀ CÁC SAO TRONG THIÊN HÀ CỦA CHÚNG TA

Chương V

THÔNG TIN, THIẾT BỊ THU NHẬN VÀ PHÂN TÍCH THÔNG TIN TỪ VŨ TRỤ

I– THÔNG TIN ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG THIÊN VĂN VẬT LÝ

Vũ trụ bao la là một thế giới đầy sôi động, bí ẩn đang thường xuyên gửi thông tin đến chúng ta. Tùy theo trình độ nhận thức phát triển, nhân loại đã biết sử dụng lượng thông tin được gửi qua ánh sáng, qua bức xạ hồng ngoại, tử ngoại gần, qua bức xạ vô tuyến... Đến thời điểm hiện nay, các nhà thiên văn đã có thể sử dụng hầu như đủ loại thông tin do thiên thể gửi tới bằng mọi bước sóng thuộc thang sóng điện từ và các dòng bức xạ hạt mà ta thường gọi là các tia vũ trụ sơ cấp. Tương lai không xa, các nhà thiên văn sẽ còn sử dụng dòng hạt nơtrino vũ trụ để nghiên cứu các quá trình vật lý diễn ra trong lòng các ngôi sao, trong các nhân thiên hà hoạt động. Chúng ta hy vọng nhân loại sẽ phát hiện và ghi nhận được sóng hấp dẫn (gravity waves), góp thêm nguồn thông tin thứ ba để nghiên cứu thiên văn vật lý.

1. Bức xạ điện từ – các đại lượng đặc trưng

Theo Maxwell (James Clerk Maxwell 1831 – 1879), bức xạ điện từ lan truyền trong không gian dưới dạng sóng với vận tốc $\vec{v}$. Sóng điện từ là sóng ngang, bao gồm hai phần: sóng điện $\vec{E}$ và sóng từ $\vec{B}$, trong đó $\vec{E}$ và $\vec{B}$ vuông góc với nhau và vuông góc với vectơ vận tốc $\vec{v}$, tạo thành một tam diện thuận.

Hình V.1

Các vectơ sóng $\vec{E}$ và $\vec{B}$ biến thiên theo thời gian t tuân theo hàm số sin với tần số f và lan truyền trong chân không với tốc độ $v = c = 299.792.500$ m/s. Khoảng cách giữa hai điểm dao động cùng pha gọi là bước sóng λ của sóng điện, từ có tần số f. Khi đó:

$$\lambda.f = c \qquad (V.1)$$

Nếu sóng điện từ lan truyền trong môi trường vật chất có chiết suất n, nó sẽ đạt được tốc độ:

$$v = c/n \qquad (V.2)$$

Trong chân không, $n = n_0 = 1$, trong các môi trường vật chất thông thường khác $n > 1$, do đó $v < c$. Nhưng tần số dao động điện từ f vẫn không thay đổi trong quá trình lan truyền, do đó khi đi vào môi trường vật chất, sóng điện từ có bước sóng ngắn lại.

Biểu thức mô tả vectơ điện $\vec{E}$ và vectơ từ $\vec{B}$ của sóng điện từ tại thời điểm $t > 0$ ở vị trí có toạ độ x dọc theo hướng lan truyền có dạng:

$$\begin{cases} E(x,t) = E_0 \sin\left(2\pi ft + \dfrac{2\pi x}{\lambda} + \phi_0\right) \\ B(x,t) = B_0 \sin\left(2\pi ft + \dfrac{2\pi x}{\lambda} + \phi_0\right) \end{cases} \qquad (V.3)$$

Trong đó E_0, B_0 là biên độ của sóng; ϕ_0 là pha của dao động tại điểm có toạ độ $x = 0$ ở thời điểm $t = 0$.

Cũng như các loại sóng khác, sóng điện từ mang năng lượng, động lượng và chúng được lan truyền theo hướng truyền sóng. Lượng năng lượng do sóng điện từ mang theo khi đi qua một đơn vị diện tích đặt vuông góc với phương truyền sóng trong một đơn vị thời gian đúng bằng độ lớn của vectơ Poynting $\vec{S}$

$$\vec{S} = \frac{1}{\mu_0}\vec{E} \wedge \vec{B} \qquad (V.4)$$

Vì vectơ điện $\vec{E}$ và vectơ từ $\vec{B}$ biến thiên điều hoà theo thời gian t nên khi đo đạc người ta chú ý tới giá trị trung bình của $\vec{S}$ trên đoạn đường λ. Nếu trong chân không thì:

$$\langle S \rangle = \frac{1}{2\mu_0} E_0 B_0 \qquad (V.5)$$

với $B_0 = cE_0$, trong đó E_0, B_0 tương ứng là biên độ của $\vec{E}$ và $\vec{B}$.

Vì sóng điện từ có động lượng, nên nó tác dụng một lực nhất định lên mặt phẳng mà nó truyền tới; kết quả gây ra áp suất bức xạ điện từ lên mặt đó. Giả sử bề mặt diện tích A có pháp tuyến $\vec{n}$ làm với hướng truyền bức xạ một góc θ.

Hình V.2

Khi đó nếu bức xạ điện từ bị mặt A hấp thụ hoàn toàn thì nó tác dụng lên mặt A một áp lực $\vec{F}_{ht}$ có giá trị:

$$F_{ht} = \frac{1}{c}\langle S\rangle A.\cos\theta \qquad (V.6)$$

Nếu bức xạ bị mặt A phản xạ hoàn toàn thì do thành phần tiếp tuyến với mặt A không bị phản xạ, nên bức xạ truyền tới gây nên một áp lực phản xạ $\vec{F}_{px}$ có giá trị:

$$F_{px} = \frac{2}{c}\langle S\rangle A.\cos^2\theta \qquad (V.7)$$

Áp lực bức xạ do thiên thể gửi đến chúng ta, trong nhiều bài toán đều được bỏ qua vì nó quá nhỏ so với những lực khác, nhưng nó lại đóng vai trò quan trong trong nhiều vấn đề liên quan đến vật lý thiên văn. Chẳng hạn như sự hình thành đuôi sao chổi, tính chất vật lý của vật chất thuộc lớp sao kềnh đỏ, hoặc của vật chất chứa trong đám mây dày đặc kết tụ lại để tạo ra các sao ở giai đoạn đầu mới hình thành (protostars)...

Cường độ bức xạ điện từ đơn sắc I_λ tỷ lệ với E_0^2, B_0^2 và có thứ nguyên là $J/m^2.Hz$. Tuy nhiên, bức xạ điện từ do thiên thể gửi tới bao gồm nhiều loại tần số khác nhau trải dài từ tần số vô tuyến cho đến bức xạ gamma (xem hình V.3), nên cường độ I_λ có thể được đo bằng

đơn vị đặc biệt là Jansky trong vùng sóng vô tuyến (viết tắt là J_y; $1J_y = 10^{-26} Wm^{-2}Hz$) hoặc $eV/m^2.Hz^{-1}$ ở vùng sóng ngắn nhất.

Hình V.3

Đo cường độ bức xạ điện từ do một thiên thể phát ra là phép đo rất cơ bản của thiên văn vật lý. Mắt người với hệ thống thần kinh ở võng mạc là thiết bị ghi nhận và đo bức xạ điện từ ở vùng ánh sáng trắng (ánh sáng nhìn thấy).

Cũng như ánh sáng, bức xạ điện từ là một thực thể mang lưỡng tính sóng hạt. Trường bức xạ điện từ có thể được xem là tập hợp các lượng tử gián đoạn. Các lượng tử đó gọi là các photon. Mỗi photon ứng với bước sóng xác định mang tên là photon đơn sắc, nó mang một năng lượng ε_λ và động lượng p_λ liên hệ với các đặc trưng λ, f của sóng đơn sắc qua hệ thức:

$$\varepsilon_\lambda = hf = hc/\lambda \qquad (V.8)$$

$$p_\lambda = h/\lambda = \varepsilon_\lambda / c \qquad (V.9)$$

với h là hằng số Planck có giá trị $h = 6,6262.10^{-34}$ J.s, c là tốc độ ánh sáng truyền trong chân không.

Các thiết bị thu nhận sóng điện từ trong vùng quang học như mắt người, phim, nhũ tương kính ảnh, máy nhân quang điện (photomultiplier), C.C.D (charge– Coupled– device) đều dùng để ghi nhận các photon có năng lượng ε_λ từ 1,8 đến 3,0 eV.

Xét về mặt lý thuyết, bức xạ điện từ do thiên thể phát ra có thể trải dài từ miền có tần số $f = 0$ đến miền tần số $f \to \infty$ tức là từ miền có năng lượng $\varepsilon_\lambda = 0$ đến $\varepsilon_\lambda \to \infty$! Cho đến thời điểm hiện nay, các

nhà thiên văn mới chỉ tạo ra được những thiết bị để ghi nhận các bức xạ có bước sóng từ hàng chục kilômét đến cỡ 10^{-14} mét.

Nhìn chung các thiên thể đều ở rất xa chúng ta, do đó mật độ bức xạ do chúng phát ra dọi đến chúng ta là rất bé, thường thấp hơn ngưỡng ghi nhận của các thiết bị nói trên. Vì lẽ đó ta phải tìm cách thu gom làm tăng độ dọi trước khi nó đến máy ghi nhận. Thiết bị đảm đương vai trò đó đối với bức xạ miền quang học do thiên thể gửi tới trước khi đến mắt người quan sát, đo đạc, đánh giá, được gọi là kính thiên văn quang học (Telescope) hay gọi tắt là kính thiên văn. Thiết bị có vai trò tương tự như kính thiên văn quang học, nhưng làm việc với vùng bức xạ nào sẽ được gọi tương ứng là kính thiên văn vùng đó. Ví dụ kính thiên văn vô tuyến (Radio Telescope), kính thiên văn hồng ngoại, kính thiên văn tử ngoại, kính thiên văn Röentgen...

Đo đạc bức xạ điện từ do thiên thể gửi tới, thực chất là đo các tham số xác định lượng bức xạ được mô tả ở (V.3). Nhưng thực tế chỉ bức xạ ở vùng vô tuyến, các tham số như biên độ, bước sóng (hoặc tần số), pha dao động, hướng lan truyền, mức độ phân cực của sóng mới được đo một cách đầy đủ. Còn ở miền bức xạ có bước sóng ngắn hơn, chủ yếu là ta đo E_0^2, đo λ và thỉnh thoảng mới quan tâm đến mức độ phân cực của sóng. Thiên văn vật lý thực hành có ba loại phép đo, đó là đo độ sáng (photometry), phép đo phổ (spectrometry), phép đo phân cực (polarimetry) rất cần thiết cho mọi người muốn nghiên cứu thiên văn vật lý.

2. Bức xạ điện từ có bản chất nhiệt và bức xạ phi nhiệt

Bức xạ điện từ có thể chia làm hai nhóm lớn: Bức xạ nhiệt và bức xạ phi nhiệt.

a) Bức xạ nhiệt

Đại đa số các vật nóng sáng quanh ta và các thiên thể như Mặt Trời, các sao loại thường, các đám mây khí hyđrô bị ion hoá là những nguồn phát ra bức xạ điện từ theo cơ chế bức xạ nhiệt (thermal radiation). Bức xạ này được sinh ra khi các hạt mang điện cấu tạo nên nguyên tử như hạt nhân, các electron, do chuyển động nhiệt đã đưa nguyên tử chuyển lên trạng thái kích thích. Từ trạng thái kích thích, nguyên tử chuyển về trạng thái có năng lượng thấp hơn và phát ra bức xạ điện từ.

Bức xạ nhiệt tuân theo định luật Kiếc–xốp (Kirchhoff's law). Theo định luật này khi một vật có nhiệt độ tuyệt đối T, tỷ số giữa năng suất phát xạ và năng suất hấp thụ đơn sắc e_λ / a_λ là một đại lượng chỉ phụ thuộc vào bước sóng λ và nhiệt độ T. Nếu gọi $e_\lambda / a_\lambda = f(\lambda, T)$ là hàm đặc trưng cho vật bức xạ nhiệt,

Hình V.4

thì nó sẽ có dạng cụ thể như thế nào? Tuy hiện nay các nhà vật lý đã hiểu khá rõ bản chất của bức xạ nhiệt, nhưng dạng cụ thể của $f(\lambda, T)$ mới chỉ được tìm thấy cho các vật bức xạ nhiệt mà chúng có khả năng hấp thụ hết mọi bức xạ điện từ gửi đến vật đó (tức là với mọi λ, $a_\lambda = 1$). Vật có tính chất đó được gọi là vật đen (Black – body). Như vậy vật đen không hề phản xạ bức xạ điện từ dọi tới, mà nó hấp thụ toàn bộ bức xạ điện từ gửi đến rồi bức xạ lại, với đường phân bố năng lượng theo bước sóng có dạng như ở hình V.4. Từ cửa một lò đốt đến nhiệt độ T bức xạ điện từ do nó phát ra rất gần với bức xạ của vật đen có cùng nhiệt độ. Các ngôi sao nóng sáng và ở một mức độ nào đấy, các hành tinh được coi gần đúng như một vật đen về khả năng phát ra bức xạ điện từ.

Các định luật bức xạ của vật đen

*** Định luật dịch chuyển Wien**

Từ hình (V.4) chỉ cho ta thấy rằng vật đen có nhiệt độ T sẽ phát ra bức xạ điện từ có phổ liên tục trong một miền khá rộng. Đường cong phân bố năng lượng theo bước sóng nhận giá trị cực đại tại $\lambda = \lambda_{max}$. Giá trị λ_{max} di chuyển về phía sóng ngắn khi nhiệt độ tăng lên. Mối quan hệ giữa T và λ_{max} lần đầu tiên được Vin (Wien) phát hiện bằng con đường thực nghiệm, ngày nay ta gọi là định luật dịch chuyển Vin (Wien's displacement law).

$$\lambda_{max} = \frac{2,9.10^{-3}(m.K)}{T(K)} \qquad (V.10)$$

Ví dụ, vào đêm mùa Đông hoặc đầu mùa Xuân nhìn lên phía Đông – Nam bầu trời ta sẽ thấy chòm sao Tráng Sĩ, trong đó có một ngôi sao màu đỏ và một ngôi sao màu xanh có tên gọi tương ứng là Betelgeuse, và Rigel. Lục tra trong danh mục sao, nhiệt độ bề mặt của chúng có giá trị tương ứng là $T_1 = 3400K$, $T_2 = 10.000K$. Áp dụng công thức (V.10) ta được $(\lambda_1)_{max} = 8,53.10^{-7}$ m; $(\lambda_2)_{max} = 2,87.10^{-7}$ m. Điều này chứng tỏ sao Betelgeuse có nhiệt độ thấp hơn nên chủ yếu bức xạ ở miền sóng dài, mạnh nhất là bức xạ hồng ngoại có bước sóng $\lambda = (\lambda_1)_{max} = 8,53.10^{-7}$ m. Còn Rigel có nhiệt độ cao đến chục nghìn độ nên bức xạ chủ yếu ở miền sóng ngắn, mạnh nhất là bức xạ $\lambda = (\lambda_2)_{max} = 2,87.10^{-7}$ m thuộc miền tử ngoại.

· *** Định luật Stefan – Boltzmann**

Từ hình V.4, ta cũng thấy được rằng: khi nhiệt độ T của vật đen tăng lên, năng lượng của vật đó phát ra ở mọi bước sóng trong một đơn vị thời gian cũng tăng lên với mức độ rất nhanh so với mức độ tăng của T. Năm 1879, nhà vật lý người Áo Josef Stefan đã bằng thực nghiệm phát hiện ra quy luật sự phụ thuộc giữa mật độ công suất bức xạ toàn phần (với mọi bước sóng λ có thể) và nhiệt độ tuyệt đối T của vật bức xạ. Năm năm sau, chính người đồng hương của Stefan là Ludwig Boltzmann đã bằng con đường áp dụng các định luật của nhiệt động lực học và công thức tính áp suất bức xạ của Maxwell để đi đến biểu thức chính xác mô tả quy luật mà Stefan đã phát hiện. Biểu thức này mô tả định luật mang tên là định luật Stefan – Boltzmann. Nó có dạng:

$$\varepsilon = \sigma T^4 \qquad (V.11)$$

Với σ là hằng số Stefan – Boltzmann, nó có giá trị $\sigma = 5,67.10^{-8}$ W/m^{2}K^4. Nếu gọi L là độ trưng (tổng công suất bức xạ toàn phần) của một ngôi sao mà quang cầu của nó có bán kính R. Khi đó diện tích của quang cầu $A = 4\pi R^2$, nhưng quang cầu không phải là vật đen theo đúng nghĩa của nó, do đó biểu thức (V.11) áp dụng cho quang cầu các sao có dạng:

$$L = 4\pi R^2 \varepsilon = 4\pi R^2 \sigma T_{hd}^4 \qquad (V.12)$$

Rõ ràng mật độ công suất phát xạ toàn phần của ngôi sao sẽ là

$$\varepsilon = \sigma T_{hd}^4 \qquad (V.13a)$$

Ví dụ: Nhờ các thiết bị trắc quang đặt trên các con tàu vũ trụ người ta đo được độ trưng và bán kính của Mặt Trời là $L_\odot = 3,826.10^{26}$ W, $R_\odot = 6,96.10^8$ m. Áp dụng (V.12) ta có:

$T_{\odot} = 5770\,K$. Áp dụng công thức định luật Wien (V.10) cho phổ bức xạ liên tục do quang cầu Mặt Trời phát ra, ta được:

$\lambda_{max} = \dfrac{2,9.10^{-3}(m.K)}{5770.(K)} = 5,030.10^{-7}\,m$, bức xạ này thuộc miền bức xạ có màu xanh lá cây (green). Nếu nhìn lên Mặt Trời, thấy nó có màu vàng; điều này có thể lý giải Mặt Trời bức xạ gần đúng như một vật đen. Hơn nữa, nhìn lên hình V.4, ta thấy vật đen có nhiệt độ tuyệt đối T= 5770K chủ yếu bức xạ ở miền sóng quang học. Miền bức xạ này hầu như không bị khí quyển Trái Đất hấp thụ và mắt người trong quá trình tiến hoá tự nhiên đã nhạy cảm nhất với bước sóng màu vàng, cũng nằm trong vùng sóng mà Mặt Trời phát ra.

*** Hàm phân bố Planck**

Cuối thế kỷ XIX Planck đã phát hiện công thức thực nghiệm (emprical formula) mô tả khá tốt phân bố năng lượng bức xạ điện từ theo bước sóng được chỉ ra trên hình V.4

$$B_{\lambda}(T) = \frac{a/\lambda^5}{\exp(b/\lambda T) - 1} \qquad (V.13b)$$

với a, b là các hằng số. Các hằng số này nhận giá trị bao nhiêu? Để trả lời câu hỏi này, thoạt đầu Planck xét bức xạ của vật đen theo quan điểm vật lý cổ điển: cho rằng mỗi sóng do vật có nhiệt độ T phát ra sẽ chứa một năng lượng là kT với k là hằng số Boltzmann, $k = 1,381.10^{-23}\,J/K$. Qua tính toán, ông thu được kết quả thật vô lý ở vùng λ có giá trị nhỏ. Để khắc phục "tai hoạ vùng tử ngoại" này, Planck đã đề xuất thuyết lượng tử về năng lượng của bức xạ điện từ (xem biểu thức V.8). Ông đã thu được giá trị $a = 2hc^2; b = hc/k$ với h,c,k tương ứng là hằng số Planck; tốc độ ánh áng trong chân không và hàng số Boltzmann. Khi đó (V.13) có dạng:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2/\lambda^5}{\exp(hc/\lambda kT) - 1} \qquad (V.14)$$

hoặc:

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hf^3/c^2}{\exp(hf/kT) - 1} \qquad (V.15)$$

Từ (V,14) ta tìm được B_{λ} đạt giá trị cực đại tại $\lambda = \lambda_{max}$. Khi đó rõ ràng λ_{max} là nghiệm của phương trình $\dfrac{\partial B_{\lambda}}{\partial \lambda} = 0$ và ta thu được công thức mô tả định luật Wien (V.10).

Nếu tích phân $B_\lambda(T)d\lambda$ cho mọi bước sóng khả dĩ ta được:

$$\int_0^\infty B_\lambda(T)d\lambda = \frac{1}{\pi}\sigma T^4$$ ta lại được công thức tương tự (V.11)

Chú ý thêm rằng từ hàm phân bố Planck ta có thể thấy: nếu xét mọi bức xạ điện từ vùng sóng dài, khi đó $hc/\lambda kT$ rất nhỏ nên $\exp(hc/\lambda kT) \approx 1 + hc/\lambda kT$. Vậy (V.14) có giá trị:

$$B_\lambda(T) = 2ckT/\lambda^4 \qquad (V.16)$$

Nó mô tả khá tốt quy luật bức xạ ở vùng sóng vô tuyến vũ trụ với bước sóng $\lambda \geq 1\,cm$. Ở miền này độ chói bức xạ đơn sắc tỷ lệ thuận với nhiệt độ của vật bức xạ và tỷ lệ nghịch với luỹ thừa bậc bốn của bước sóng. Đây chính là định luật Rayleigh– Jeans.

Nếu xét cho vùng sóng ngắn, khi đó $hc/\lambda \gg kT \rightarrow \exp(hc/\lambda kT) \gg 1$ nên:

$$B_\lambda(T) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5}\exp\left(-\frac{hc}{\lambda kT}\right) \qquad (V.17)$$

được gọi là công thức phân bố Wien (Wien's distribution) do Wien tìm ra bằng con đường tính toán bức xạ nhiệt theo thuyết lượng tử. Rõ ràng (V.17) mô tả khá tốt bức xạ nhiệt khi nhiệt độ T khá thấp và nếu khi T đủ cao thì nó chỉ đúng với bức xạ ở vùng sóng ngắn.

b) Bức xạ phi nhiệt

Bức xạ đồng pha (synchrotron radiaton) được sinh ra trong các máy gia tốc synchrotron, bức xạ gyrosychrotron do các punxa (pulsars) phát ra, hay bức xạ made (maser), lade (laser) là những ví dụ bức xạ điện từ phi nhiệt. Các nhà thiên văn đã chỉ ra rằng một số đối tượng lạ trong vũ trụ như supernovae, pulsars, radiogalaxies, seyfert galaxies... đều phát ra bức xạ điện từ phi nhiệt. Các photon do chúng phát ra không phải là kết quả của sự chuyển mức năng lượng của các nguyên tử cấu tạo nên chúng. Vectơ $\vec{E}$, $\vec{B}$ mô tả bức xạ điện từ phi nhiệt có tính định hướng rất rõ, ta nói rằng bức xạ phi nhiệt có tính phân cực cao nếu từ trường trong môi trường chứa vật bức xạ phân bố đồng đều. Ngoài ra công suất bức xạ phi nhiệt không liên quan trực tiếp với nhiệt độ tuyệt độ T của vật bức xạ. Do đó các công thức liên quan tới quá trình bức xạ nhiệt đều không thích hợp để mô tả loại bức xạ này.

Nghiên cứu bức xạ synchrotron do electron chuyển động với $v \approx c$

trong từ trường phát ra, cho ta thấy rằng: nếu gọi tần số mà ở lân cận đó, bức xạ đạt được giá trị cực đại là f_{max} thì nó quan hệ với năng lượng E của electron và thành phần từ trường vuông góc với vận tốc electron $B_\perp$ theo công thức thực nghiệm:

$$f_{max}(\text{MHz}) \approx 16 B_\perp E_0^2 \qquad (V.18)$$

trong đó $B(10^{-10}T)$; $E(GeV)$.

Cường độ bức xạ loại này phụ thuộc vào sự phân bố năng lượng của electron và sự phân bố từ trường trong môi trường chứa vật bức xạ. Phân bố các e tương đối tính theo năng lượng E có dạng $N(E) \sim E^{-\gamma}$ với $\gamma > 1$ nên thông lượng bức xạ synchrotron $F_f \sim (f)^{-(\gamma-1)/2}$ tức là bức xạ này chủ yếu phát ra ở vùng tần số thấp thuộc miền bức xạ vô tuyến hoặc miền ánh sáng nhìn thấy.

Cho đến thời điểm hiện nay, các nhà vật lý thấy rằng quá trình đồng pha và quá trình Compton ngược (Inverse Compton process) đã phát ra bức xạ điện từ phi nhiệt. Ngoài ra các nhà vật lý còn nêu ra mô hình hạt về quả cầu sáng (the Ball–of–light particle Model). Theo quan điểm này khi những hạt nguyên tố bị phân rã chúng sẽ phát ra bức xạ phi nhiệt và có thể ngay trên bề mặt của các quả cầu sáng này cũng phát ra bức xạ phi nhiệt.

Nói tóm lại nếu bức xạ điện từ có nguồn gốc nhiệt là do các electron chuyển động trong nguyên tử, thì bức xạ phi nhiệt lại bắt nguồn từ mặt hoặc do sự phân rã của các quả cầu sáng. Cần chú ý rằng các hạt nguyên tố trong mô hình này không nhất thiết phải là nhỏ, miễn sao hạt lớn nhất có thể chứa trọn toàn bộ trong vũ trụ. Theo mô hình này, mỗi đối tượng phát ra bức xạ phi nhiệt đều phải tồn tại lõi trung tâm tương ứng như những hạt cầu sáng nguyên tố. Dĩ nhiên không được đồng nhất "hạt cầu sáng nguyên tố" này với khối plasma hoặc khối vật chất "suy biến" theo quan niệm của vật lý thông thường.

3. Phổ bức xạ điện từ do các nguyên tử, các ion và các phân tử phát ra

a) Phổ của các nguyên tử

Theo cơ học lượng tử, nguyên tử là hệ gồm hạt nhân và các electron liên kết với nhau chủ yếu nhờ lực điện từ, chúng chuyển động theo quy luật lượng tử nên năng lượng liên kết giữa các thành phần cấu tạo nên nguyên tử chỉ có thể nhận những giá trị gián đoạn

E_n xác định. Tập hợp các giá trị khả dĩ của E_n gọi là phổ năng lượng của nguyên tử. Khi nguyên tử vì lý do nào đó nó chuyển từ trạng thái ứng với năng lượng E_n về trạng thái ứng với $E_{n'}$ thì nó bức xạ ra photon điện từ có tần số υ, bước sóng λ thoả mãn:

$$E_n - E_{n'} = hf_{nn'} = hc/\lambda \qquad (V.19)$$

Tập hợp tất cả các photon mà nguyên tử có thể bức xạ thoả mãn (V.19) được gọi là phổ của nguyên tử.

Nguyên tử của cùng một nguyên tố sẽ có chung một kiểu sắp xếp vì thế phổ của nguyên tử là dấu ấn riêng để nhận diện nguyên tố đó. Ta biết nguyên tử hyđrô đơn giản nhất có phổ năng lượng

$$E_n = -13,60eV/n^2 \qquad (V.20)$$

với n là số tự nhiên; còn nguyên tử có từ hai electron trở lên thì E_n có dạng như thế nào là tùy thuộc vào cấu hình sắp xếp electron quanh hạt nhân nguyên tử. Cách sắp xếp này chịu sự chi phối của cơ học lượng tử và nguyên lý loại trừ Pauli. Kết quả phổ của những nguyên tử phức tạp nhưng lớp ngoài cùng chỉ chứa một electron ví dụ Li, Na, K... sẽ có dạng gần với phổ của nguyên tử hyđrô. Những nguyên tử mà lớp ngoài cùng có nhiều hơn một electron thì phức tạp hơn.

b) Phổ của ion

Nếu các ion (có thể dương hoặc âm) là gồm hạt nhân nguyên tử liên kết với ít nhất 1 electron thì phổ của các ion này có dáng dấp của phổ nguyên tử trung hòa tương ứng. Đặc biệt là các ion tương tự hyđrô thì:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2}.Z^2 \text{ (eV)} \qquad (V.21)$$

c) Phổ của các phân tử

Phân tử là hệ gồm các nguyên tử liên kết với nhau nhờ lực điện hoá. Theo cơ học lượng tử năng lượng liên kết các phần tử trong phân tử bao gồm: năng lượng liên kết giữa các electron và các hạt nhân nguyên tử, năng lượng dao động của hệ do các hạt nhân trong nguyên tử tạo thành và năng lượng quay của phân tử đó. Để dễ hình dung ta xét phân tử gồm hai nguyên tử ví dụ phân tử CO. Khi đó năng lượng E của phân tử CO sẽ là:

$$E = E^{(e)} + E^{(q)} + E^{(dd)} \qquad (V.22)$$

Trong đó $E^{(e)}$ có dáng dấp phổ năng lượng ion; $E^{(dd)}$ là năng lượng dao động của dao động tử điều hòa

$$E^{(dd)} = h(n + 1/2)f \qquad (V.23)$$

Với $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m_{hn}}}$ trong đó K là hệ số tỷ lệ của lực chuẩn đàn hồi, còn $E^{(q)}$ chỉ năng lượng ứng với hệ CO quay quanh trục đi qua khối tâm và vuông góc với đường nối hạt nhân của nguyên tử C và hạt nhân O.

$$E^{(q)} = \frac{1}{2}I\omega^2 = \frac{1}{2I}L^2 = l(l+1)\frac{h^2}{2I} \qquad (V.24)$$

Với I là momen quán tính của hệ đối với trục quay, l là chỉ số lượng tử quỹ đạo nên nhận giá trị 0,1, 2, 3,...

Bức xạ do phân tử phát ra sẽ gồm ba loại kết hợp với nhau nên nó phức tạp hơn phổ nguyên tử nó gồm những đám rộng không có bờ rõ nét. Nếu phân tử phức tạp (có nhiều hơn hai loại nguyên tử) thì các đám có thể chồng chất lên nhau. Nhưng mỗi loại phân tử có phổ đám đặc trưng riêng biệt. Như vậy, nghiên cứu phổ phân tử do môi trường vật chất phát ra ta sẽ biết trong môi trường đó có thể có những loại phân tử nào. Nếu phân tử của các chất khác nhau nhưng có chung một nhóm nào đó (ví dụ nhóm OH) thì phổ phân tử của những chất này sẽ xuất hiện các đám có dạng giống nhau. Đây là một căn cứ để phán đoán cấu trúc phân tử qua nghiên cứu phổ bức xạ của nó.

4. Phổ năng lượng nguyên tử khi có điện từ trường ngoài – Hiệu ứng Stark và hiệu ứng Zeemann

Phổ năng lượng của nguyên tử trung hoà đề cập ở V.3.a đó là khi bỏ qua mọi tương tác từ bên ngoài. Nếu có mặt tương tác bên ngoài đủ yếu để không phá vỡ liên kết trong nguyên tử, phần năng lượng liên quan đến tương tác của nguyên tử với trường ngoài là ΔE, còn năng lượng liên kết trong nguyên tử là E^0, thì năng lượng nguyên tử khi có mặt trường ngoài sẽ là:

$$E_n = E_n^{(0)} + \Delta E_n \qquad (V.25)$$

Vì nguyên tử là một hệ có mômen từ và mômen lưỡng cực điện có thể khác không, do đó nguyên tử khi được đặt trong điện, từ trường ngoài sẽ nhận thêm năng lượng bổ sung ΔE làm thay đổi phổ năng lượng và phổ bức xạ điện từ đã nói ở V.3.a.

a) Nếu điện từ trường ngoài có $\vec{E} = 0, \vec{B} \neq 0$

Khi đó: $E_n^{(B)} = E_n^{(0)} + \Delta E_n^{(B)}$

Trong đó $\Delta E_n^{(B)}$ là năng lượng ứng với tác dụng từ trường ngoài lên mômen từ của nguyên tử ở trạng thái có $E_n^{(0)}$, do đó:

$$\Delta E_n^{(B)} = \vec{\mu}.\vec{B} = \mu B\cos\left(\vec{\mu},\vec{B}\right) = \mu_{0z}B = \frac{1}{2\mu_e}.em_l.\hbar B \qquad (V.26)$$

Trong đó m_e là khối lượng rút gọn của hệ nguyên tử, m_l là số lượng tử từ quỹ đạo của electron trong nguyên tử nó có tất cả $2l+1$ giá trị chạy từ $-l$ đến l.

Như vậy mỗi mức năng lượng bây giờ tách thành $2l+1$ mức kế cạnh nhau. Photon do nguyên tử đặt trong từ ngoài phát ra năng lượng hf thì:

$$\begin{aligned} hf_{nn'} &= E_n^{(B)} - E_{n'}^{(B)} = \left(E_n^{(0)} + \Delta E_n^{(B)}\right) - \left(E_{n'}^{(0)} + \Delta E_{n'}^{(B)}\right) \\ &= \left(E_n^{(0)} - E_{n'}^{(0)}\right) + \left(\Delta E_n^{(B)} - \Delta E_{n'}^{(B)}\right) = hf_{nn'}^{(0)} + h\Delta f_{nn'} \end{aligned} \qquad (V.27)$$

Vì sự dịch chuyển từ mức E_n về mức $E_{n'}$ còn chịu sự chi phối của quy tắc chọn lọc, thoả mãn $\Delta m = \pm 1$, $\Delta m = 0$. Kết quả hiệu ứng Zeemann làm tách đường phổ λ thành ba đường có bước sóng λ và $\lambda \pm \Delta\lambda$ với:

$$\Delta\lambda \sim B \qquad (V.28)$$

Ngoài ra các sóng với λ, là sóng phân cực phẳng $\lambda \pm \Delta\lambda$ là sóng phân cực tròn quay ngược chiều nhau. Lý thuyết và thực nghiệm đều chứng tỏ rằng: Nếu tia nhìn song song với $\vec{B}$ thì sẽ nhận được hai sóng phân cực tròn, nếu ta nhìn vuông góc với $\vec{B}$ thì ta sẽ nhận được cả ba sóng nói trên.

Hình V.5

Hiệu ứng này có ý nghĩa cơ bản trong việc xác định từ trường trong các môi trường vũ trụ.

b) Nếu trường điện từ ngoài có $\vec{B} = 0, \vec{E} \neq 0$

Hiệu ứng Stark đã được Johannes Stark phát hiện và giải thích thoả đáng theo quan điểm cơ học lượng tử vào năm 1913. Chính nhờ cống hiến này ông đã nhận được giải Noben vật lý vào năm 1919. Theo Stark, khi nguyên tử được đặt vào trong điện trường ngoài thì nó bị phân cực biến thành các mômen lưỡng cực điện, sau đó điện trường ngoài tác dụng lên lưỡng cực điện này bổ sung một phần năng lượng $\Delta E^{(E)}$, khi đó:

$$E_n^{(E)} = E_n^{(0)} + \Delta E_n^{(E)} \qquad (V.29)$$

$\Delta E_n^{(E)}$ sẽ bao gồm năng lượng làm quay mômen lưỡng cực điện và năng lượng làm lưỡng cực điện dịch chuyển về phía điện trường mạnh. Kết quả làm cho mỗi mức năng lượng E_n tách thành $(J+1)$ mức kề cạnh nhau nếu spin nguyên tử là số nguyên lần $\hbar$ và tách thành $(J + 1/2)$ mức nếu spin nguyên tử là bán nguyên, trong đó J là chỉ số quỹ đạo toàn phần.

Hiệu ứng Stark ít có giá trị trong phân tích phổ nguyên tử, nhưng nó là công cụ chủ yếu để phân tích phổ quay của phân tử.

5. Hiệu ứng Doppler

Năm 1842 Đôple (Christian Doppler) đã chỉ ra rằng khi nguồn phát ra sóng âm di chuyển trong môi trường (không khí chẳng hạn), khi đó bước sóng của âm phát ra bị co ngắn lại ở phía trước và bị giản ra ở phía sau. Độ cao của âm thanh của còi tàu phát ra lúc tàu đứng yên ta nghe thấy khác xa với âm đó khi tàu chuyển động. Âm trở nên cao hơn nếu tàu đi lại gần ta và thấp hơn nếu tàu đi xa ta. Sự thay đổi bước sóng âm học do chuyển động tương đối giữa nguồn phát và máy thu được gọi là hiệu ứng Doppler âm học.

Nếu gọi λ_0, f_0, v_a tương ứng là bước sóng, tần số và vận tốc lan truyền sóng âm trong môi trường đứng yên bao quanh nguồn phát, còn λ, f là bước sóng và tần số của sóng đó nhưng do máy thu chuyển động đối với môi trường dọc theo đường nối vị trí của nguồn phát và máy thu với vận tốc u thì:

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \pm \frac{u}{v_a} \qquad (V.30)$$

Dấu cộng ứng với máy thu đi xa nguồn phát tín hiệu âm học, dấu "–" ứng với máy thu và nguồn phát đi lại gần nhau.

Hiện tượng xảy ra tương tự đối với sóng điện từ. Cụ thể là bước sóng của phổ bức xạ do ngôi sao phát ra sẽ trở nên dài hơn khi ngôi sao đó đi ra xa chúng ta và trở nên ngắn hơn nếu ngôi sao đó đi lại gần chúng ta. Lần đầu tiên vào năm 1848 đã được Phi–zô (Armand Fizeau 1819–1896) giải thích khá thoả đáng theo vật lý cổ điển. Nên hiệu ứng này còn được gọi tên là hiệu ứng Doppler –Fizeau hay hiệu ứng Doppler quang học.

Theo Fizeau, nếu ta tưởng tượng nguồn phát sáng E đang đi xa máy thu O theo chiều OE với tốc độ v_r và liên tục phát ra bức xạ điện từ tần số f_0, bước sóng λ_0. Trong khoảng thời gian $\Delta t = 1/f_0$, tín hiệu do nguồn phát ra sẽ cách nguồn một khoảng $\lambda_0 = c.\Delta t = c/f_0$ với c là tốc độ truyền của ánh sáng trong môi trường chân không hoặc trong không khí. Nhưng do máy thu đi xa nguồn phát nên khi máy thu nhận được tín hiệu đó thì nó đã cách nguồn phát một khoảng

$$\lambda = (c + v_r)\Delta t = \lambda_0\left(1 + \frac{v_r}{c}\right) \qquad (V.31)$$

Do đó $\lambda > \lambda_0$ ta nói rằng sóng lệch về phía sóng dài hay còn gọi là lệch về phía đỏ. Tương tự nếu máy thu đi lại gần nguồn phát ngược hướng nói trên cũng với tốc độ v_r thì:

$$\lambda = (c - v_r)\Delta t = \lambda_0\left(1 - \frac{v_r}{c}\right) \qquad (V.32)$$

Ta nói rằng sóng bị lệch về phía sóng ngắn hay được gọi là lệch tím.

Kết quả $$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \pm\frac{v_r}{c} \qquad (V.33)$$

Nó trùng với (V.30) nếu thay v_a bằng c và khá phù hợp với kết quả quan sát ánh sáng do các ngôi sao đi xa hoặc tiến lại gần ta theo phương tia nhìn với tốc độ rất nhỏ so với tốc độ ánh sáng trong chân không.

Nếu khi $v_r \approx c$ cách giải quyết của Fizeau không cho kết quả phù hợp với kết quả quan sát được, đặc biệt không phát hiện được hiệu ứng Doppler – Fizeau trong trường hợp nguồn phát di chuyển theo phương vuông góc với đường nối nguồn phát và máy thu.

Hiệu ứng Doppler quang học được giải thích trọn vẹn theo lý thuyết tương đối của Einstein. Theo thuyết này tốc độ ánh sáng là bất

biến trong mọi hệ quy chiếu quán tính và đạt giá trị cực đại. Hơn nữa chỉ có thể đo được tốc độ di chuyển tương đối, cho nên biểu thức $\lambda = (c + v_r)\Delta t$ là không có nghĩa: vấn đề bây giờ là ở chỗ khái niệm không thời gian, phụ thuộc vào hệ quy chiếu.

Ta hãy quan sát ánh sáng từ ngôi sao E đi ra xa với vận tốc $\vec{v}$.

Khi ngôi sao phát ra hai tín hiệu sáng liên tiếp cách nhau khoảng thời gian $(\Delta t)_0$ nếu tính theo đồng hồ gắn với sao E nhưng là khoảng thời gian (Δt) nếu tính theo đồng hồ gắn với người quan sát. Theo vật lý cổ điển $(\Delta t) = (\Delta t)_0$ nhưng theo lý thuyết tương đối thì:

Hình V.6

$$\Delta t = \frac{(\Delta t)_0}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}\left(1+\frac{v\cos\varphi}{c}\right) \qquad (V.34)$$

Rõ ràng khi đó $(\Delta t)^{-1} = f$ còn $(\Delta t)_0^{-1} = f_0$:

$$f = \frac{f_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}{\left(1+\frac{v\cos\varphi}{c}\right)} = \frac{f_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}{\left(1+\frac{v_r}{c}\right)} \qquad (V.35)$$

với $v_r = v\cos\varphi$ (xem hình V.6) được gọi là tốc độ xuyên tâm hoặc tốc độ theo phương tia nhìn (Radial velocity) của nguồn phát sáng.

* Nếu $\varphi = 0$ tức nguồn E chuyển động ra xa máy thu theo phương tia nhìn, khi đó:

$$f = \frac{f_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}{\left(1+\frac{v}{c}\right)} = f_0\sqrt{\frac{1-\left(\frac{v}{c}\right)}{1+\left(\frac{v}{c}\right)}} < f_0 \qquad (V.36)$$

* Nếu $\varphi = 180^o$ tức nguồn phát đi lại gần máy thu theo phương tia nhìn, ta được:

$$f = \frac{f_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}{\left(1-\frac{v}{c}\right)} = f_0\sqrt{\frac{1+\left(\frac{v}{c}\right)}{1-\left(\frac{v}{c}\right)}} > f_0 \qquad (V.37)$$

Như vậy, khi $\varphi = 0$ hoặc $\varphi = 180°$ ta có hiệu ứng Doppler dọc, trong hiệu ứng này tuỳ theo hướng di chuyển tương đối mà có thể $f > f_0$ (lệch tím) hoặc $f < f_0$ (lệch đỏ).

* Nếu mà $\varphi = 90°$ tức nguồn phát dịch chuyển theo phương vuông góc với phương tia nhìn, khi đó:

$$f = f_0\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2} < f_0 \qquad (V.38)$$

Ta luôn thấy rằng $f < f_0$ tức ánh sáng luôn lệch về phía đỏ. Hiệu ứng Doppler xảy ra khi $\varphi = 90°$ được gọi là hiệu ứng Doppler ngang (Transverse Doppler shift). Hiệu ứng này chỉ hiểu được theo quan điểm của lý thuyết tương đối. Nó là hệ quả của hiệu ứng dãn ra của thời gian trong hệ được gia tốc so với hệ quy chiếu quán tính.

Có thể kiểm nghiệm được khi $v \ll c$ các công thức mô tả hiệu ứng Doppler (V.36,37) sẽ chuyển về công thức (V.33) mà Fizeau đã tìm được.

Đối với quan sát thiên văn ta có thể gặp hiện tượng lệch đỏ hoặc lệch tím, nhưng đại bộ phận các thiên thể như các ngôi sao (star), các thiên hà đều đi xa chúng ta, nên các nhà thiên văn hay quan tâm tới hiện tượng lệch đỏ (red shift). Khi đó người ta hay nói đến tham số lệch đỏ Z được định nghĩa:

$$Z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \qquad (V.39)$$

Thay giá trị f ở (V.36) vào biểu thức $c = \lambda f = \lambda_0 f_0$, rồi thay vào (V.39) ta được:

$$Z = \sqrt{\frac{1+v_r/c}{1-v_r/c}} - 1 \Leftrightarrow Z + 1 = \frac{\Delta t}{(\Delta t)_0} \qquad (V.40)$$

Từ hiệu ứng Doppler quang học áp dụng vào thiên văn ta thấy một số hệ quả sau:

– Vì ngôi sao E nào đấy đang lùi xa người quan sát, nên người quan

sát nhìn qua phổ do nó phát ra sẽ có màu nhất định ứng với nhiệt độ màu T_m được xác định qua định luật dịch chuyển Wien. Giá như nó đứng yên so với người quan sát thì sẽ thấy có màu ứng với $T'_m > T_m$ tức là sao đó có vẻ sáng xanh hơn. Tuy nhiên, vì đại bộ phận các sao thì $v_r < c$ nên sự thay đổi này không nhiều. Hiện tượng tương tự sẽ trở nên đáng kể nếu $v_r \approx c$, ví dụ khi nghiên cứu các chuẩn sao quasar.

– Nếu ngôi sao thoả mãn Z > 0 chứng tỏ sao đó đi ra xa chúng ta cho nên trong quá trình quan trắc độ trưng L của sao đó, mặc dù công suất bức xạ của sao đó không đổi (nếu đo trong hệ quy chiếu đứng yên so với sao), nhưng do khoảng cách giữa chúng ta và sao tăng theo thời gian nên độ trưng quan sát được của sao đó cũng bị thay đổi chút ít trong khoảng thời gian quan trắc.

– Hiệu ứng Doppler dọc là một phương tiện hữu hiệu để đo tốc độ di chuyển tương đối của thiên thể đối với người quan trắc, từ đó kết hợp với định luật Hubble ta có thêm phương pháp để đo khoảng cách đến các thiên hà xa xôi.

II– THIẾT BỊ GHI NHẬN THÔNG TIN ĐẾN TỪ VŨ TRỤ. KÍNH THIÊN VĂN

Mọi thiết bị do con người tạo ra nhằm giúp họ thu gom tín hiệu đến từ vũ trụ đều được hiểu là thiết bị thu dùng trong nghiên cứu thiên văn.

Vì con người sống trên mặt đất, được bao bọc bởi lớp khí quyển dày khoảng vài trăm kilômét. Lớp khí quyển này chỉ cho bức xạ vùng quang học và một phần bức xạ sóng vô tuyến đi qua, nên thời kỳ sơ khai của nền văn minh, con người chỉ giao tiếp với vũ trụ nhờ ánh sáng. Mãi đến nữa cuối thế kỷ 20 mới biết sử dụng lượng thông tin do thiên thể gửi đến qua bức xạ vô tuyến. Thiết bị thu nhận tín hiệu đầu tiên làm việc ở vùng sóng quang học (với bước sóng từ 4000Å đến 7000Å) có tên là kính thiên văn quang học (Telescope). Theo nghĩa rộng mọi thiết bị chuyên dụng để thu năng lượng bức xạ điện từ do thiên thể gửi đến đều được gọi là kính thiên văn. Tuỳ dải sóng thu mà kính thiên văn có thể là kính thiên văn quang học, kính thiên văn vô tuyến (Radio Telescope), kính thiên văn hồng ngoại, kính thiên văn Rơnghen,... và thậm chí có thể gọi máy thu nơtrino vũ trụ là kính thiên văn nơtrino... Tuỳ theo cách thu sóng điện từ tương ứng mà kính thiên văn nói trên phân thành kính thiên văn khúc xạ (hay là

kính chiết quang), kính thiên văn phản xạ, kính thiên văn hỗn hợp, kính thiên văn giao thoa.

Trước hết chúng ta đề cập đến kính thiên văn quang học, hay gọi tắt là kính thiên văn, còn kính thiên văn làm việc ở dải sóng khác quang học thì có thêm tính từ đi kèm ví dụ kính thiên văn vô tuyến; kính thiên văn hồng ngoại...

1. Kính thiên văn

Kính thiên văn làm việc ở dải sóng nhạy với mắt người (dải sóng quang học) ra đời đầu tiên vào năm 1609, có độ phóng đại góc G khoảng 30 lần. Bằng kính tự tạo này Galileo – người Italia đã hướng kính lên quan sát Mặt Trăng, Kim tinh, Mộc tinh... chính thức khai sinh ra kính thiên văn quang học và mở đầu kỷ nguyên nghiên cứu thiên văn nhờ kính.

Kính thiên văn do Galileo chế tạo thuộc loại kính khúc xạ. Trong kính này phần thu gom bức xạ là một thấu kính hội tụ. Ánh sáng khi đi qua thấu kính phần bị hấp thụ, còn phần truyền qua bị khúc xạ, tán sắc... nên ảnh của các thiên thể khi nhìn qua kính sẽ có màu viền sặc sỡ không sắc nét. Để khắc phục nhược điểm của kính khúc xạ, cuối thế kỷ XVII James Gregory và sau đó là Isaac Newton đã đề nghị dùng gương lõm hội tụ ánh sáng. Năm 1671, Isaac Newton đã dùng gương cầu lõm hội tụ ánh sáng, chính thức khai sinh ra hệ kính thiên văn phản xạ (hay kính thiên văn phản quang). Trong các kính loại này, ngoài gương cầu lõm hội tụ ánh sáng, người ta còn dùng gương phẳng hoặc gương cầu (gọi là gương phụ hay gương thứ cấp) để đổi hướng lan truyền tia sáng trước khi di qua thị kính đến mắt người quan sát. Kính thiên văn phản xạ không có sắc sai, nhưng gương cầu lõm không hội tụ tốt chùm sáng ở xa quang trục gây ra hiện tượng cầu sai. Để khắc phục cầu sai người ta thay gương cầu lõm bằng gương lõm Paraboloit tròn xoay. Nhưng gương dạng này khó chế tạo để đạt được độ chính xác mong muốn. Vì những lý do đó người ta tìm cách hạn chế sắc sai, dẫn đến sự ra đời của thấu kính đẳng sắc (achromatic lens) nên cuối thế kỷ thứ XVIII kính thiên văn chiết quang phát triển mạnh. Kính lớn nhất loại này đặt ở đài thiên văn Yerkes có đường kính D =1,5m.

Kính thiên văn chiết quang hiện đại có sơ đồ cấu tạo như hình (V.7), còn kính thiên văn phản quang có dạng như hình (V.8). Nhìn chung kính thiên văn có 3 bộ phận chủ yếu: vật kính để thu gom bức xạ, tạo ra ảnh tại mặt phẳng tiêu của nó; thị kính như một kính lúp

để giúp ta nhìn ảnh do vật kính tạo nên và bộ phận ống kính để ghép nối vật kính và thị kính với nhau.

Hình V.7. *Sơ đồ kính thiên văn khúc xạ*

Hình V.8. *Sơ đồ kính thiên văn phản xạ*

Nhà thiên văn người Pháp Guillaume Cassegrain đã cải tiến kính kiểu Newton cho ra đời kính Cassegrain như hình V.9.

Hình V.9. *Kính Cassegrain*

Kính kiểu này cho phép tăng tiêu cự hiệu dụng của vật kính mà giảm được kích thước dài của ống kính và từ đó giảm được giá thành và không gian, nơi đặt kính. Nhìn chung kính thiên văn ta vừa xét đều có trường nhìn (the field of view) khá hẹp. Những năm đầu thế kỷ XX nhà quang học Beinhard Schmidt và Maksutov– Liên Xô cũ tạo ra được kính hỗn hợp Schmidt–Cassegrain (Hình V.10) và kính Maksutov (Hình V.11).

Hình V.10

Hình V.11

Kính thiên văn lớn nhất ở Đại học Sư phạm Hà Nội là thuộc hệ Schmidt – Cassegrain loại LX200 có đường kính vật kính D = 40cm, tiêu cự f = 4m.

2. Những đặc trưng cơ bản của kính thiên văn

Dù kính thiên văn loại gì, thuộc hệ kính gì, chúng đều có các đặc trưng cơ bản sau đây.

a) Độ phóng đại góc G (hay còn gọi là độ bội giác)

G là tỷ số giữa góc mắt ta nhìn thiên thể qua kính α và góc ta nhìn trực tiếp thiên thể α_0. Các thiên thể đều ở rất xa chúng ta, do đó ánh sáng từ thiên thể gửi tới được xem như những chùm tia song song. Mắt ta nhìn thoải mái nhất khi không phải điều tiết, nên kính thiên văn được điều chỉnh về dạng vô tiêu. Khi đó rõ ràng $G_\infty = \frac{f_1}{f_2}$ với f_1, f_2 tương ứng là tiêu cự của vật kính và thị kính.

Hình V.12

Nếu mọi tia đi qua vật kính đều đi vào thị kính, tức là không có hiệu ứng Vi–nhét thì:

$$G_\infty = \frac{f_1}{f_2} = \frac{D_{vk}}{D_{tk}} \qquad (V.41)$$

b) Quang lực A của kính (Light–gathering Power)

Là đại lượng nói lên khả năng của kính cho phép ta nhìn thiên thể qua kính sẽ thu được lượng quang thông gấp bao nhiêu lần khi ta nhìn trực tiếp lên thiên thể đó.

Giả sử độ dọi sáng do thiên thể gây ra tại nơi quan sát là E, khi đó nhìn qua mắt có đường kính δ ta nhận được quang thông $\Phi_1 = \pi\delta^2 E/4$. Nếu nhìn thiên thể đó qua kính với vật kính có đường kính D và lối ra của thị kính đúng bằng đường kính mắt ta thì khi đó nhận được quang thông $\Phi_2 = \pi D^2 E/4$. Do đó:

$$A = \Phi_2/\Phi_1 = (D/\delta)^2 \qquad (V.42)$$

c) Năng suất phân giải e của kính thiên văn

Là đại lượng nói lên khả năng của kính cho phép ta nhìn qua

kính có thể phân biệt rõ ràng 2 điểm sáng gần nhau nhất là bao nhiêu. Vì ảnh của nguồn điểm qua vật kính do hiện tượng nhiễu xạ qua lỗ tròn nên sẽ là ảnh nhiễu xạ với vùng sáng trung tâm và các vân sáng tối bậc 1, 2.... xen kẽ nhau. Theo tiêu chuẩn Rayleigh: hai điểm gần nhau nhất còn phân biệt được nếu vân sáng trung tâm của điểm này vừa trùng với vân tối thứ nhất của điểm kia. Khi đó ta có:

$$e_{(ud)} = 1,22\frac{\lambda}{D} \qquad (V.43)$$

với λ – là bước sóng bức xạ ta quan sát, D là đường kính vật kính.

Vì $$1\text{rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 360 \times \frac{60'}{2\pi} = 360.60.\frac{60''}{2\pi} \approx 206265'' \qquad (V.44)$$

Do đó, năng suất phân giải e tính theo giây cung sẽ có dạng:

$$e('') = 206265.1,22.\frac{\lambda}{D} = 2,5.10^5\frac{\lambda}{D}$$

Ví dụ bước sóng nhạy nhất với mắt người $\lambda = 5.10^{-5}$ cm, kính LX-200 có đường kính $D = 40$ cm, khi đó về lý thuyết có thể cho ta phân ly được 2 chi tiết cách nhau một khoảng nhỏ nhất $e = 2,5.10^5.\frac{5.10^{-5}}{40} = 0,31''$. Kính Hubble có $D = 2,4$ m nên có năng suất phân giải $e = 0,05''$. Đây cũng là độ phân giải thực mà kính Hubble đạt được vì nó quan sát ngoài vùng khí quyển Trái Đất nên không chịu ảnh hưởng của loạn lưu khí quyển làm giảm chất lượng ảnh. Nhờ đó kính Hubble đã phát hiện nhiều thiên thể mà kính đặt ở mặt đất không "nhìn rõ". Ví dụ vành cực Thổ tinh, các tiểu hành tinh trong vành đai Kuiper, tinh vân con bướm N159, phát hiện được nhiều chi tiết trong sao chổi 73P Schwassmann– Wachmann 3. Đã phát hiện ra các sao siêu mới (supernovae), sao biến quang Cepheit trong các thiên hà xa xôi nhất đã biết...

Người mắt tốt có thể phân biệt được 2 điểm cách nhau một khoảng cách góc là $e_0 \geq 2' = 120''$. Nếu ta dùng kính thiên văn có độ bội giác G thì năng suất phân giải lý thuyết của kính là e, qua kính được phóng đại G lần, muốn ta nhìn qua kính phân biệt rõ 2 chi tiết đó thì:

$$Ge \geq e_0 = 120''$$

Mặt khác theo mục c, $e('') \approx 120''/D(mm)$ nên G thích hợp sẽ có giá trị:

$$G = \frac{f_1}{f_2} = D(mm)$$

Ví dụ kính Takahashi ở khoa vật lý Đại học Sư phạm Hà Nội có $D = 108$ mm, $f_1/10$. Vậy nên chọn thị kính bao nhiêu để thích hợp cho quan sát hành tinh?

Ta dễ thấy: $f_2 = f_1/G = f_1/D(\text{mm})$. Để tìm f_1, ta chú ý $f_1/10$ có nghĩa là $f_1/D_1 = 10$, suy ra $f_1 = 10D_1 = 10.108 = 1080$ mm. Do đó $f_2 = 1080/108 = 10$ mm.

Ta phải dùng thị kính $f_2 = 10$ mm là tốt nhất.

d) Kích thước ảnh l của thiên thể có đường kính góc α tại mặt phẳng tiêu của vật kính

Theo công thức:

$$l = 2f_1 \tan\frac{\alpha}{2} \text{ suy ra: } l \approx f_1\alpha(\text{rad}) = 0,01744f.\alpha(^0) \quad (V.45)$$

Nếu dùng kính có $f_1 = 1,50$ m thì Mặt Trăng, Mặt Trời tại mặt phẳng tiêu cự vật kính sẽ có kích thước:

$$l_{\text{Trăng}} \approx l_{\text{Trời}} \approx 0.0174.1500.0,5 = 13,3 \text{ mm}.$$

Vật kính có tiêu cự f_1 càng lớn sẽ cho kích thước ảnh l càng dài, trong khi quan sát hành tinh thuộc hệ Mặt Trời, ta thường sử dụng kính thiên văn có f_1 càng lớn để tăng kích thước ảnh của chúng, nhằm khám phá được nhiều chi tiết hơn trên bề mặt của hành tinh.

e) Độ sáng của ảnh các thiên thể

– Với nguồn điểm, ví dụ như các ngôi sao, các thiên thể ở quá xa nên $\alpha \approx 0$, độ sáng khi nhìn qua kính tăng lên $(D/\delta)^2$ lần. Kính có D càng lớn càng có ưu thế khi quan trắc nguồn điểm, cho phép ta nhìn thấy những vật sáng yếu mà mắt thường không thể phát hiện được.

– Với thiên thể có $\alpha > 0$ ví dụ, Mặt Trăng, các hành tinh, các tinh vân... Khi đó độ sáng của ảnh nhìn qua kính tỷ lệ với lượng quang thông do thiên thể rọi qua vật kính và tỷ lệ nghịch với diện tích ảnh của thiên thể tại mặt phẳng tiêu vật kính. Kết quả nhìn qua kính độ đọi sáng sẽ được tính:

$$B = A/l^2 \quad (V.46)$$

Thay A và l tương ứng ở (V.44), (V.45) vào (V.46) ta được:

$$B = (D/f_1)^2.(f_2/\delta)^2 \quad (V.47)$$

Nó nói lên rằng với một kính thiên văn, nếu ta lần lượt dùng với

các thị kính có tiêu cự f_2 nhỏ dần, thì ảnh sẽ lớn dần lên, nhưng độ sáng ảnh giảm xuống. Tính toán chi tiết điều kiện toàn bộ quang thông đi qua vật kính phải được đi qua thị kính rồi tất cả đi qua con ngươi của mắt người có $\delta_{max} = 6$ mm, C.R. Kitchin đã cho ta thấy hệ số phóng đại góc tối thiểu

$$G_{min} = 170D \qquad (V.48)$$

với D được tính bằng mét.

Đồng thời ông cũng chỉ ra rằng nhìn thiên thể có $\alpha > 0$ qua kính thấy sáng hơn khi ta nhìn bằng mắt thường không phải do kính đã làm tăng độ sáng so với khi ta nhìn trực tiếp! Vấn đề ở đây là do đặc tính của mắt người (Xem phần nói về mắt).

g) Trường nhìn của kính thiên văn (the field of view)

Nếu gọi Ω là trường nhìn của kính thiên văn sử dụng ứng với thị kính có trường nhìn Ω_0 thì:

$$\Omega = \Omega_0 / G \qquad (V.49)$$

Thông thường thị kính có Ω_0 nằm trong khoảng 30° đến 85°, vì G rất lớn nên Ω sẽ rất bé. Vì lẽ đó, để dễ bắt mục tiêu trên ống kính các kính thiên văn thường có gắn kính nhỏ có độ phóng đại bé nhưng trường nhìn rộng, có tên gọi là ống chuẩn trực.

III– THIẾT BỊ GHI NHẬN BỨC XẠ VŨ TRỤ

1. Mắt người, thiết bị ghi nhận đầu tiên được con người dùng vào nghiên cứu bức xạ vũ trụ

Mắt người có cấu tạo như hình V.13 về phương diện ghi nhận, quan trọng nhất là võng mạc (retina). Võng mạc chứa 4 loại tế bào thần kinh thị giác trong đó có 10^8 tế bào hình gậy nhạy cảm với bức xạ có $\lambda_1 = 5100$Å, và 6.10^6 tế bào hình nón chia làm 3 loại tương ứng nhạy với $\lambda_2 = 4300$Å, $\lambda_3 = 5200$Å, $\lambda_4 = 5800$Å. Các tế bào hình nón nhạy với 3 loại ánh sáng đơn sắc nên kết hợp lại nó cho ta khả năng nhận biết màu sắc của một vật phát ra bức xạ. Tuy có nhiều tế bào như vậy nhưng chỉ có 10^6 đầu dây thần kinh thị giác dẫn lên não bộ, vì thế nhiều tế bào cũng được nối chung với một đầu dây thần kinh.

Hình V.13

Các tế bào gậy phân bố rãi rác khắp võng mạc, còn tế bào hình nón tuy ít nhưng chủ yếu tập trung ở trung tâm võng mạc nơi được gọi là điểm vàng (fovea centralis). Càng xa điểm vàng ta bắt gặp nhiều tế bào hình gậy hơn là tế bào hình nón. Do đó nếu ta nhìn thẳng vào vật, ảnh của vật sẽ rơi vào vùng quanh điểm vàng, nhìn nghiêng ảnh của vật rơi vào vùng chứa nhiều tế bào gậy. Tế bào gậy bắt nhạy sáng nhờ các phân tử rhodopsin hay còn gọi là phần tử màu đỏ tía. Nhưng khi cường độ tia sáng mạnh dọi tới, phân tử này ngừng hoạt động, khi đó tế bào hình gậy có độ nhạy sáng rất thấp, ta nhìn vật phát sáng chủ yếu nhờ tế bào hình nón. Chính vì lẽ đó, khi vật phát sáng mạnh, ta dễ nhận ra màu sắc của vật. Còn khi độ dọi sáng thấp dọi tới khoảng 20 phút đến 30 phút sau thì các phân tử màu tía hồi phục lại khả năng nhạy sáng nên các tế bào gậy hồi phục và tăng độ nhạy sáng của chúng khoảng 100 lần ta nhìn thấy chủ yếu nhờ tế bào gậy chứ không phải nhờ tế bào hình nón. Do đó nhìn vật kém sáng ta khó nhận ra màu sắc của nó. Trong thiên văn, khi ta quan sát các tinh vân khí (gaseous nebulae) vì có độ dọi sáng thấp nên ta chỉ thấy chúng như màu trắng sáng sữa. Do độ nhạy sáng trung bình của ba loại tế bào hình nón đạt cực đại tại miền $\lambda = 5500$Å, trong khi tế bào gậy đạt cực đại tại $\lambda_1 = 5100$Å, nên nếu ta đồng thời quan sát hai ngôi sao có độ sáng khác xa nhau, có nghĩa rằng ngôi sao sáng hơn

được ghi nhận bởi tế bào nón nên được đánh giá chủ yếu qua bức xạ $\lambda = 5500Å$, còn ngôi sao kém sáng được đánh giá qua tế bào gậy, tức là nhờ bức xạ $\lambda_1 = 5100Å$ kết quả có thể dẫn đến đánh giá sai lệch về độ sáng của 2 sao nào đó, thể hiện qua màu của nó: ngôi sao nhìn thấy màu xanh ($\lambda = 5100Å$) trở nên quá sáng, ngôi sao nhìn thấy màu đỏ ($\lambda_1 = 5500Å$) trở nên quá yếu so với thực tế. Hiện tượng này được gọi là hiệu ứng Puaking (Purkinje effect).

Mắt cảm nhận ánh sáng tuân theo định luật Weber – Fechner - Pogson: Khi kích thích do bức xạ dọi tới tăng theo cấp số nhân thì cảm nhận của mắt tăng theo cấp số cộng (xem định nghĩa về cấp sao).

Mắt có khả năng phân biệt được 2 điểm sáng cách nhau không nhỏ hơn một góc từ 3' đến 5' chứ không đạt đến giá trị tính theo lý thuyết, bởi vì về mặt quang học, mắt là một quang hệ có sắc sai khá lớn.

Khả năng nhạy sáng của mắt tuỳ thuộc từng người và được nâng cao nhờ rèn luyện và tích luỹ kinh nghiệm.

Ghi nhận bức xạ đi từ vũ trụ nhờ mắt người có ưu nhược điểm sau:

Ưu điểm

Thiết bị có sẵn ở người quan sát, nhờ tiến hoá tự nhiên, mắt người đã đạt đến mức hoàn hảo, hợp lý với điều kiện sống của con người, do đó nó khá tốt để thu nhận bức xạ vùng quang học. Nếu được rèn luyện trong thực tiễn thì có thể nâng cao hiệu quả nếu khai thác hết những ưu thế của mắt người.

Nhược điểm

– Vùng quang phổ khá hẹp để nghiên cứu vũ trụ.

– Khó ghi lại và chia sẻ dữ liệu quan trắc được để nhiều người nghiên cứu cùng xử lý.

– Phần nào mang tính chủ quan, phụ thuộc vào kinh nghiệm người quan sát.

– Cảm nhận của mắt người không tăng tuyến tính với bức xạ dọi tới. Khắc phục những nhược điểm trên, các nhà thiên văn đã sáng chế ra nhiều thiết bị ghi nhận khác chúng đã được dùng trong thiên văn như nhũ tương kính ảnh(1840), ống nhân quang điện, CCD(1970) (charge–coupled–device) p–i–n photo diot.

Hiện nay thường dùng nhũ tương kính ảnh dưới dạng phim chụp ảnh chất lượng cao do hãng Kodax hoặc hãng Fuji sản xuất. Nguyên

lý hoạt động của phim ảnh, chúng ta có thể tham khảo ở các giáo trình quang học, còn kỹ thuật để chụp ảnh đẹp được đề cập ở các tài liệu chuyên ngành

Xuất phát từ tính thiết thực và cập nhật, chúng tôi xin trình bày kỹ nguyên lý thu ảnh thiên thể nhờ CCD camera gắn với kính thiên văn và máy vi tính.

2. Máy ghi CCD (charge–Coupled–Device)

Nhìn bề ngoài CCD có dạng như hình V.14a bộ phận chủ yếu của CCD là 1 tấm phẳng gồm (n.m) phần tử bắt photon, mỗi phần tử được gọi là 1pixel hay một ô. Thực chất mỗi ô là một đơn vị của tế bào quang điện loại p hoặc n hoạt động dựa trên hiệu ứng quang điện trong.

Sơ đồ nguyên lý cấu tạo và sơ đồ điện của phần tử CCD loại p được trình bày ở hình V.14b.

Hình V.14

Nhìn lên sơ đồ ta thấy CCD gồm 1 tấm bán dẫn silic loại p hoặc loại n, có độ dày khoảng 10μm, trên đó có phủ lớp oxit của bán dẫn đó với độ dày khoảng 1/10 độ dày tấm bán dẫn, trên tấm oxit cách điện này có gắn điện cực trong suốt với bức xạ dọi tới

Khi bức xạ có năng lượng $\varepsilon = hf$ dọi tới, bán dẫn loại p hấp thụ photon đó, làm xuất hiện một cặp e và lỗ trống. Sau khi bứt ra khỏi

liên kết, e đủ năng lượng vượt qua vùng cấm lên miền dẫn, tại đây chúng có thể di chuyển tự do trong tinh thể dưới tác dụng chuyển động nhiệt và có thể tái nhập với lỗ trống. Để loại khả năng tái nhập, người ta đặt hiệu điện thế hút electron tự do về miền lưu trữ ở gần điện cực và cô lập chúng tại đây, đồng thời đẩy lổ trống vào tấm bán dẫn và chúng sẽ biến mất trong đó. Nhờ vậy tại miền lưu trữ e, ta thu được lượng điện tích tự do có độ lớn tỷ lệ với thông lượng bức xạ dọi tới.

Nhờ kỹ thuật vi mạch, người ta tạo được một mãng gồm (n.m) đơn vị thu gom các electron để có thể đưa vào bộ chuyển đổi A/D tạo ra các mức logic cao thấp tương ứng với các photon dọi tới. Nhờ dữ liệu này, máy tính sẽ hiển thị lên ảnh các đối tượng quan sát, cứ một nhóm điện tích lưu trữ trong một ô sẽ tạo nên một ảnh điểm tương ứng trên màn hình máy tính. Vì CCD có (n.m) ô nên trên màn hình ta sẽ thấy (n.m) chi tiết của đối tượng cần quan sát.

Quá trình nêu trên được thực hiện tương tự như ví dụ sau: Để biết phân bố lượng mức mưa rơi xuống cánh đồng, ta đặt các xô hứng nước tại các vị trí khác nhau. Sau cơn mưa, những xô chứa nước mưa rơi xuống được mang về trạm đo lường thông qua một băng chuyển nào đó. Căn cứ vào lượng nước thu được ở từng xô, trạm đo lường sẽ "số hoá" và căn cứ vào số liệu đó để biểu diễn trên giấy vẽ bức tranh toàn cảnh về sự phân bố lượng nước mưa trên cánh đồng.

Hình ảnh đối tượng cần quan trắc, được tạo bởi CCD gắn với CPU gồm 4 khâu chính sau đây.

– Tạo ra electron nhờ photon dọi tới các ô tế bào quang điện của CCD.

– Tập trung tích tụ điện tích trong từng ô đến lúc nhận được lệnh để truyền tới bộ chuyển đổi A/D. Vì sự lưu trữ điện tích trong mỗi ô tế bào quang điện là có giới hạn, nên nếu đối tượng gửi đến quá nhiều photon, sẽ gây ra hiện tượng điện tích trào ra ngoài ô lưu trữ và có thể chảy vào ô bên cạnh làm ảnh hưởng chất lượng ảnh thu được tạo ra sau này.

– Dẫn truyền, khuếch đại và chuyển đổi A/D.

Các hạt quang electron trong từng ô sẽ được truyền tới bộ chuyển đổi A/D theo phương thức giống như quét hình trong vô tuyến truyền hình, nghĩa là quét từ trái sang phải, từ trên xuống dưới

Ví dụ trong tấm tế bào quang điện lớn của CCD gồm (n.m) ô xếp thành n hàng ngang và m cột. Phía trên cùng là thanh ghi đặt tại y = 0.

Hình V.15

– Hàng y = 1 được đọc đầu tiên: khi đó tín hiệu ở các ô 1j chuyển lên ô 0j tương ứng (với j = 1, 2, 3...) rồi lần lượt được đưa vào lối ra thứ tự từ trái qua phải

– Tiếp đó hàng hai chuyển lên hàng một,... hàng n lên hàng (n – 1) để điện tích hàng 1 lại được chuyển lên thanh ghi rồi đi ra. Tiếp tục thứ tự này cho đến khi điện tích hàng thứ n được lấy ra.

– Hiển thị tín hiệu: CCD được kết nối với máy tính qua một cáp truyền dẫn. Chức năng của cáp này là truyền các lệnh từ phần mềm đã cài đặt trong máy tính để thiết lập và điều khiển hoạt động của CCD ở vùng nhiệt độ và thời gian đóng mở cửa bức xạ dọi vào CCD. Mặt khác cáp sẽ truyền số liệu từ bộ chuyển đổi A/D trên CCD về CPU để máy hiển thị kết quả lên màn hình.

Các tham số đặc trưng của CCD camera

– Loại chất bán dẫn tạo nên CCD: quyết định vùng bức xạ thu được.

– Kích thước của mỗi pixel (mỗi ô) càng nhỏ thì ảnh tạo ra có độ phân giải cao.

– Kích thước của toàn bộ CCD quyết định độ rộng của thị trường quan sát được.

– Đáp tuyến tần số của CCD phụ thuộc vào độ nhạy sáng của mỗi pixel khi các photon đơn sắc khác nhau dọi tới. Ta biết rằng năng lượng mỗi photon phụ thuộc vào tần số của nó. Ánh sáng từ một thiên thể gửi tới gồm nhiều photon thuộc dải tần số nằm trong một miền xác

định. Theo hiệu ứng quang điện, khả năng giải phóng electron tự do ứng với từng photon có tần số khác nhau sẽ khác nhau. Một CCD tốt là nó có thể ghi nhận và phản ánh trung thực được sự khác nhau đó.

– Dung lượng của mỗi pixel là khả năng chứa electron tối đa trong pixel đó. Dung lượng càng lớn, CCD càng có khả năng ghi nhận tín hiệu do các đối tượng gửi tới trung thực. Nếu dung lượng các pixel quá bé, khi đó sẽ xảy ra tình trạng nếu pixel hứng vùng photon từ miền quá sáng dọi tới sẽ giải phóng quá nhiều electron tự do, vượt quá khả năng chứa của pixel đó, nên các electron dư thừa sẽ tràn sang các pixel kề cạnh làm cho tín hiệu ghi được bị sai lệch.

– Độ ồn nhiệt (the thermal noise).

Ngoài các electron được giải phóng nhờ các photon dọi tới, còn có các electron tự do nhờ phát xạ nhiệt. Những electron này sẽ gây nhiễu. Số này càng tăng khi nhiệt độ CCD càng tăng. Do đó, để giảm độ ồn nhiệt người ta phải làm lạnh CCD. Độ ồn nhiệt được biểu diễn qua số electron phát xạ nhiệt trên mỗi pixel trong một đơn vị thời gian (1s) ở nhiệt độ 0°C.

Mã chuyển đổi A/D thể hiện thông qua số bít có thể là 2, 4, 8, ... 32 bít số. Số này càng cao, chất lượng của CCD càng tốt.

Tóm lại: với kỹ thuật hiện nay người ta đã chế tạo được CCD nhạy với bức xạ điện từ có bước sóng λ từ 4500Å đến 10000Å và có độ nhạy sáng gấp 100 lần so với phim ảnh dùng ở cùng vùng sóng này. Tín hiệu lấy ra từ CCD tỷ lệ thuận với cường độ bức xạ dọi tới và được biến đổi thành tín hiệu số để đưa trực tiếp vào CPU, nhờ vậy ta sẽ nhanh chóng thu được ảnh của đối tượng và tiến hành xử lý, đo đạc với sự hỗ trợ các phần mềm tương ứng.

Tuy nhiên CCD đang dùng hiện nay trong thiên văn, so với phim ảnh giá thành cao hơn nhiều.

Sau đây là các đặc trưng cơ bản của CCD ST7 gắn với kính LX-200 của khoa Vật lý Đại học Sư phạm Hà Nội.

– Loại bán dẫn: silic (1,14eV – 5eV).

+ Kích thước CCD: (4590 x 6804) μm .

+ Tổng số pixel: 390150.

+ Cấp sao giới hạn nhìn được m = 14 khi t =1s, m = +18 khi t = 1min.

+ Dung lượng mỗi pixel: 10^5e/1pixel.

+ Độ ồn nhiệt: 1e/1 pixel/1s ở nhiệt độ 0°C.

+ Phương thức làm lạnh: bộ T.E (hiệu ứng penche ngược).

+ Mã chuyển đổi A/D: 16 bit.

3. Quang Photodiot p – i – n

Đây là thiết bị ghi bức xạ thường dùng với các thiết bị trắc quang (photometery) đơn giản được gắn với kính thiên văn nhỏ và kính trung bình để ghi độ sáng của nguồn điểm.

Nó gồm 2 lớp bán dẫn silic loại p và loại n được ghép ngăn cách nhau nhờ bán dẫn silic. Tại hai đầu của lớp tiếp giáp hình thành hiệu điện thế tiếp xúc.

Cơ chế ghi nhận bức xạ của quang p–i–n cũng giống như ở CCD, nghĩa là khi có photon thích hợp dọi tới, sẽ làm xuất hiện cặp electron và lỗ trống. Chúng được hiệu điện thế tiếp xúc làm dịch chuyển ngược chiều nhau tạo thành dòng điện. Dòng này được ghi lại trên thiết bị đo và độ lớn của dòng cho phép ta đo được cường độ bức xạ dọi tới. Thiết bị này có ưu điểm lớn là chỉ cần trang bị thêm máy khuếch đại tín hiệu kỹ thuật vô tuyến điện tử đơn giản.

IV– THIẾT BỊ PHÂN TÍCH BỨC XẠ

Có hai loại chính đó là: các máy trắc quang (photometers) và các máy phân tích phổ (spectrometers).

1. Thiết bị trắc quang

Các thiết bị trắc quang cho ta xác định cường độ sáng hoặc cấp sao của thiên thể mà các thiết bị ghi nhận đã thu được. Thiết bị loại này có sơ đồ như hình dưới đây.

Hình V.16

Nó được dung để xác định độ sáng của thiên thể thông qua so với độ sáng của sao chuẩn đã biết qua công thức:

$$m_* - m_0 = -2,5 \lg \frac{E_*}{E_0} \qquad (V.50)$$

Với $m_0, E_0; m_*, E_*$ lần lượt là cấp sao nhìn thấy và độ dọi sáng của sao chuẩn và của thiên thể ta cần đo.

Từ giá trị m_*, E_* ta tìm được nhiệt độ T_* nhờ hệ thống phin lọc sắc trong hệ đo UBV với $\lambda_v = 3650$ Å, $\lambda_B = 4400$ Å, $\lambda_v = 5500$ Å có độ truyền qua $2\Delta\lambda = 1000$ Å qua công thức:

$$T_* = \frac{8540}{(B_* - V_*) + 0,865} \text{ (K)} \qquad (V.51)$$

2. Máy phân tích phổ

Sơ đồ của máy phân tích phổ có dạng:

Hình V.17

Tùy bộ phận phân tích ánh sáng trắng thành ánh sáng đơn sắc là lăng kính hay cách tử mà máy phổ được gọi là máy phổ dùng lăng kính hay máy phân tích phổ cách tử.

Máy phân tích phổ có hai đặc trưng chủ yếu:

Năng suất phân giải phổ

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = d.\frac{\delta\theta}{\delta\lambda} \qquad (V.52)$$

Với d là đường kính ống chuẩn trực, $\frac{\delta\theta}{\delta\lambda}$ là độ tán sắc góc.

Công thức (V.52) cho ta biết khả năng tách các bức xạ có bước sóng λ và $\lambda \pm \Delta\lambda$ ra khỏi nhau. R càng lớn máy đo càng tốt.

Độ tán sắc phổ (dispersion)

$$\frac{\delta l}{\delta\lambda} = f_2 . \frac{\delta\theta}{\delta\lambda} \ (\text{mm}/\text{Å}) \qquad (V.53)$$

Là đại lượng nói lên trên bức ảnh phổ ghi được, khi sự sai khác về vị trí là δl thì ứng với sự sai khác về bước sóng là $\delta\lambda$; f_2 là tiêu cự của thấu kính đặt sau bộ phận phân tích phổ.

Trong thiên văn, khi phân tích phổ ánh sáng trắng, người ta hay dùng máy có R từ giá trị 10 đến 100000 tức là $\delta\lambda$ có giá trị từ 50nm đến 0,005nm với $\lambda = 500$nm.

Còn độ tán sắc phổ từ 200nm/mm đến 0,01nm/mm.

Để tăng năng suất phân giải phổ R, người ta dùng thiết bị phân tích cao cấp, gọi là máy giao thoa phổ Fabriperô.

Khi đó:

$$R \approx \frac{t}{\lambda} . \frac{6\sqrt{r}}{1-r} \qquad (V.54)$$

với t: chiều dày tấm ngăn cách bản trong suốt, r: hệ số phản xạ của phin lọc bán trong suốt (95% – 99%), λ: bước sóng bức xạ khảo sát.

Thiết lập công thức tính các đặc trưng của máy phân tích phổ, chúng ta có thể tìm đọc ở các giáo trình quang học. Với mục đích sử dụng chúng trong nghiên cứu thiên văn vật lý, chúng ta cần lưu ý ưu nhược điểm của từng loại để giải quyết tốt khi phải lựa chọn chúng cho mục đích nghiên cứu cũng như khai thác đúng điểm mạnh và hạn chế điểm yếu của chúng.

Máy tạo phổ dùng lăng kính dựa trên nguyên tắc ánh sáng trắng khi đi qua môi trường trong suốt, ngoài việc bị hấp thụ một phần nó còn bị tán sắc. Kết quả nếu tia tới là ánh sáng trắng thì tia ló sẽ là một chùm gồm nhiều tia đơn sắc lệch so với tia tới những góc lệch khác nhau (tia tím bị lệch nhiều nhất, tia đỏ bị lệch ít nhất). Do đó phổ do máy phổ lăng kính tạo ra có đặc điểm:

– Tổng độ sáng của chùm tia ló nhỏ hơn độ sáng của chùm tia tới, và nếu lăng kính làm bằng thuỷ tinh chất lượng thấp sẽ mất đi nhiều bức xạ ở vùng sóng ngắn, đặc biệt là tia ở vùng tử ngoại. Để khắc phục nhược điểm này người ta dùng lăng kính thạch anh.

– Nó cho một quang phổ duy nhất sắp xếp từ đỏ đến tím.

– Nếu sự phụ thuộc chiết suất vào bước sóng thoả mãn công thức thực nghiệm Hartman.

$$n = n_0 + \frac{B}{\lambda - \lambda_0} \qquad (V.55)$$

Với n_0, B, λ_0 là những hằng số phụ thuộc vào thiết kế máy khi thử cho ba loại sóng xác định trong miền phổ nhìn thấy. Khi đó:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2\sin\left(\frac{A}{2}\right)}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\left(\frac{A}{2}\right)}} \cdot \frac{B}{(\lambda - \lambda_0)^2} \qquad (V.56)$$

với A và n là góc chiết quang và chiết xuất của lăng kính ứng với bước sóng λ.

Thiên văn hiện đại, thiên văn vật lý Mặt Trời thường dùng máy phổ cách tử. Loại thiết bị này hoạt động dựa trên hiệu ứng tách phổ do sự giao thoa của các tia khi phản xạ hoặc truyền qua các khe trên một cách tử (xem hình dưới đây).

Hình V.18

Phổ do thiết bị này tạo ra có đặc điểm:

– Không bị mất mát do hấp thụ nên phổ chứa đầy đủ các bức xạ đơn sắc hợp thành bức xạ đi vào máy phân tích.

– Nó cho một loạt quang phổ (từ đỏ đến tím) nằm đối xứng qua vân sáng trung tâm, với cường độ giảm dần khi xa trung tâm.

– Nếu tia tới vuông góc với cách tử, khi đó độ tán sắc góc được tính:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \pm\frac{m}{a + b}. \qquad (V.57)$$

Trong đó m là bậc quang phổ, m = 1, 2, ...; $\frac{1}{a+b}$ là hằng số của cách tử.

V– NHỮNG THIẾT BỊ BỔ TRỢ VÀ NHỮNG LƯU Ý KHI NGHIÊN CỨU THIÊN VĂN VẬT LÝ

Ngoài những thiết bị được đề cập ở các phần V.2, V.3, V.4 ra, hiện nay các nhà nghiên cứu thiên văn đã nhận được sự hổ trợ đắc lực của công nghệ máy tính điện tử và công nghệ vũ trụ nên họ đã chính thức đưa lĩnh vực thiên văn cao không (the space Astronomy) đến giai đoạn phát triển rực rỡ.

Như chúng ta đã biết, khí quyển bao quanh Trái Đất đã hấp thụ hầu hết mọi bức xạ tử ngoại, bức xạ thuộc vùng röentgen, tia gamma và một phần lớn bức xạ thuộc vùng hồng ngoại và bức xạ có bước sóng cỡ milimét của bức xạ vô tuyến thuộc bức xạ điện từ đến từ vũ trụ. Muốn ghi nhận được những bức xạ này đòi hỏi kính thiên văn và mọi thiết bị ghi nhận bức xạ phải được đặt trên các tàu vũ trụ, các trạm quỹ đạo bay quanh Trái Đất.

Đây là một số tiêu biểu trong các thiết bị quan trắc của thiên văn cao không: vệ tinh thiên văn hồng ngoại IRAS (Infrared Astronomical Satellite) làm việc ở vùng sóng có bước sóng từ $12\mu m$ đến $100\mu m$ do Mỹ, Anh, Hà Lan cùng hợp tác chế tạo và sử dụng. Nó đã ghi nhận được hơn 200.000 thiên thể bức xạ mạnh ở vùng bức xạ này. Trạm quốc tế tìm kiếm thiên thể bức xạ tử ngoại IUE (International Ultraviolet Explorer) được phóng lên từ năm 1978 nhằm ghi nhận bức xạ có $\lambda = 1150Å \rightarrow 3200Å$. Đến năm 1990 Đức, Anh, Mỹ cùng hợp tác đưa trạm vệ tinh Röentgen (Röentgen Satellite) lên quỹ đạo nhằm thu bức xạ Röentgen. Tiếp đó cơ quan hàng không vũ trụ của Mỹ NASA đã đưa đài thiên văn Gamma mang tên Compton GRO (the Gamma Ray Observatory) vào sử dụng... Đặc biệt vào ngày 24/4/1990, tàu con thoi mang tên Discovery đã đưa kính thiên văn cao không mang tên Hubble (the Hubble Space Telescope) lên quỹ đạo. Sau lần sửa chữa lớn vào năm 1993, kính Hubble đã thực sự hỗ trợ đắc lực nhằm giải quyết nhiều vấn đề bí ẩn của thiên văn vật lý, đặc biệt nó đã cung cấp nhiều bức ảnh chụp được với độ phân giải cao, chất lượng tuyệt vời mà chưa ai từng mơ đạt tới. Nó ghi lại được nhiều hiện tượng kỳ lạ mà có lẽ phải nhiều thế hệ các nhà thiên văn sau này mới lý giải được. Sau lần nâng cấp vào năm 2008, kính Hubble trở thành

một trong những công cụ khoa học tiên tiến hữu hiệu nhất xưa nay, nó sẽ giúp các nhà thiên văn hiểu kỹ hơn về hệ Mặt Trời, về vành đai Kuiper, về thiên hà. Hy vọng các bức ảnh mà kính thu được sẽ làm sáng tỏ vai trò của lực hấp dẫn do vật chất tối (dark matter) gây ra, cũng như thành phần các nguyên tố hoá học cấu tạo nên thế giới sao, tạo nên khí quyển hành tinh, và các thiên hà xa xôi khác nữa.

Trên mặt đất hệ thống máy tính điện tử tốc độ cao đã tạo nên bước ngoặt vĩ đại trong nghiên cứu thiên văn, khai sinh lĩnh vực thiên văn tính toán mô phỏng. Chính máy tính tốc độ siêu cao đã cho phép các nhà thiên văn tính toán các quá trình hoặc xảy ra quá chậm hoặc quá nhanh so với khả năng quan sát của con người để rồi so sánh kết quả tính toán được với những dữ liệu đang quan sát được hiện nay. Nhờ đó các nhà thiên văn đã nghiên cứu được quá trình tiến hoá của các sao (diễn ra hàng tỷ năm nay), sự quay của thiên hà quanh khối tâm cũng như sự tương tác giữa các thiên hà với nhau. Trên cơ sở này họ đã dự đoán khoảng năm tỷ năm sau, thiên hà chúng ta sẽ va chạm với thiên hà Tiên nữ và chúng sẽ biến thành thiên hà mới mang tên Milkomeda có dạng dự đoán như hình V.19.

Hình V.19. *Thiên hà Milkomeda*

Cũng nhờ máy tính tốc độ cao, các nhà thiên văn đã tạo ra kỹ thuật mới cho ngành thiên văn quang học với kính thiên văn đặt ở mặt đất, tạo ra các kính thiên văn quang học làm việc theo nguyên lý của quang học chủ động (the adaptive optics), nhờ đó khắc phục khá triệt để ảnh hưởng của khí quyển đối với chất lượng ảnh thu được qua kính thiên văn.

Để nghiên cứu tính chất vật lý của thiên thể, chúng ta phải luôn nhớ rằng vũ trụ và thế giới vật chất quanh ta là vô tận, chúng vận động theo những quy luật phổ biến và con người có thể nhận thức được. Cùng với thời gian, nhận thức của loài người ngày càng phát triển và tiệm cận dần tới thực tế khách quan. Những hiểu biết của chúng ta về các đối tượng quanh Trái Đất sẽ là cơ sở để ta lý giải và tiến đến nhận thức vật thể trong vũ trụ qua những thông tin thu nhận được. Những gì ta hiểu được về Mặt Trời sẽ là cơ sở để kiểm tra các mô hình mô tả cấu trúc các sao và những gì ta hiểu được về thiên hà chúng ta – thiên hà Ngân Hà sẽ giúp ta tìm hiểu về các thiên hà xa xôi khác.

Những kiến thức của nhân loại thuộc vật lý cổ điển, vật lý hiện đại đã và đang giúp chúng ta nghiên cứu tính chất vật lý của các thiên thể, đồng thời thiên văn vật lý cũng sẽ vạch ra thêm nhiều hướng, đặt ra nhiều bài toán mới lạ cho vật lý và cho nhiều lĩnh vực khoa học khác.

BÀI TẬP CHƯƠNG V

5.1. Hãy điền tiếp các giá trị còn thiếu trong cột tương ứng với 2 cột bên trái của bảng sau:

Miền (vùng) bức xạ	λ	f (Hz)	ε (eV)	Khả năng đi qua khí quyển
Tia Gamma	< 0,1Å			
Tia X (Rơentgen)	$(0,1 \div 10^2)$ Å			
Tia tử ngoại	$10^2 \div 4000$ Å			
Ánh sáng nhìn thấy	$4.10^3 \div 7.10^3$ Å			
Vi ba	$(10^{-3} \div 10^{-2})$m			
Vô tuyến	$> 10^{-2}$m			

5.2. Hãy chỉ ra rằng: tích hằng số Planck và tốc độ ánh sáng trong chân không hc = 12400 (Å.eV). Từ đó suy ra biểu thức tính bước sóng điện từ của các photon có năng lượng ε (eV) theo hệ đơn vị Å. Áp dụng công thức vừa tìm để tính bước sóng ngắn nhất và bước sóng dài nhất trong dải Balmer của quang phổ nguyên tử hyđrô.

5.3. Năm 1932 Karl Janski, trong khi đi dò tìm nguồn gây nhiễu tới đài phát sóng vô tuyến, ông thấy rằng: hàng ngày vào lân cận thời điểm nhất định, máy phát của ông bị gây nhiễu, hơn nữa thời điểm bị gây nhiễu của ngày kế tiếp, diễn ra sớm hơn ngày trước đó gần 4 min; còn hướng gây nhiễu không thay đổi. Kiến thức thiên văn đại cương nào cho phép ông sơ bộ nhận định rằng: Nguồn gây nhiễu phải ở ngoài Trái Đất, nó định xứ trong bầu trời (Nguồn này về sau đã được xác nhận là thuộc chòm sao Nhân Mã – Sagittarius nằm gần tâm Thiên hà chúng ta).

5.4. Hãy từ công thức (V.14) suy ra công thức (V.15) và ngược lại.

5.5. Hãy tính giá trị $\int_0^\infty B_\lambda(T)d\lambda$ biết $\int_0^\infty \frac{X^3dx}{e^X - 1} = \frac{\pi^4}{15}$

5.6. Từ biểu thức hàm phân bố Planck, hãy tìm biểu thức mô tả định luật dịch chuyển Wien: $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$.

5.7. Coi rằng tổng diện tích da của một người Việt Nam là $1,2m^2$. Nhiệt độ trung bình da người là 306K. Nếu người đó ở trong phòng có nhiệt độ không đổi T = 293K và cho rằng người và phòng đều bức xạ như những vật đen. Hãy:

a) Tính công suất bức xạ của người, và người đó bức xạ chủ yếu ở bước sóng nào? Thuộc miền bức xạ nào?

b) Tính lượng năng lượng người đó mất đi trong một giây.

5.8. Quasar PC 1247 + 3406 phát ra bức xạ có λ = 1216Å. Từ Trái Đất ta quan sát thấy nó bức xạ có λ = 7214Å. Hãy tính tham số Z và tốc độ dịch chuyển v_r của chuẩn sao đó?

5.9. Hãy thiết lập công thức tán xạ gamma trên electron tự do, với chú ý rằng electron sau tương tác là hạt tương đối tính.

5.10. Ngôi sao ∈ chòm Mục Phu (Bootes) là hệ sao đôi chuyển động quanh khối tâm chung có a = 2,9". Khi dùng kính LX–200 có f_{vk} = 4m sẽ thu được ảnh tại tiêu diện có kích thước là bao nhiêu?

5.11. Kính thiên văn Hubble có đường kính vật kính 2,4m, nếu dùng kính đó để ghi nhận bức xạ có λ = 1216Å. Hãy tính năng suất phân giải lý thuyết của kính đó? Thực tế kính đạt năng suất phân giải là bao nhiêu nếu coi kính là 1 quang hệ hoàn hảo.

5.12. Kính thiên văn vô tuyến ở Arecibo là kính đơn có đường kính vật kính 300m, làm việc với bức xạ λ 21cm. Hãy tính năng suất phân giải của kính đó.

5.13. Áp dụng tiêu chuẩn Rayleigh, hãy tính năng suất phân giải lý thuyết của mắt người, biết rằng đường kính lối vào của mắt người là 5mm, mắt nhạy nhất với bức xạ λ = 5500Å.

5.14. Thiên hà Cygnux A phát xạ mạnh bức xạ có tần số f = 400MHz tạo ra độ dọi ở mặt đất là 4500 Janxki. Nếu dùng kính thiên văn vô tuyến có đường kính vật kính 25m, hiệu suất thu 100% ở băng rộng Δf = 5MHz. Hãy tính công suất thu nhận bức xạ của kính đó. Biết rằng 1 Janki = 10^{-26}W/m^2.Hz.

5.15. Máy phổ lăng kính hoạt động ở chế độ góc lệch cực tiểu. Chiết suất chất làm lăng kính phụ thuộc bước sóng theo quy luật $n_\lambda = n_0 + \dfrac{B}{\lambda - \lambda_0}$, trong đó λ_0, n_0 và B là những hằng số.

Hãy chỉ ra rằng độ tán góc

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{2\sin\frac{A}{2}}{\sqrt{1 - n^2\sin^2\frac{A}{2}}} \cdot \frac{B}{(\lambda - \lambda_0)^2}$$

5.16.

a) Khi tia tới làm với phương pháp tuyến cách tử nhiễu xạ có hằng số cách tử (a + b) một góc φ. Hãy chỉ ra rằng quang phổ bậc m có độ tán sắc góc là:

$$\frac{d\theta}{d\lambda} = \pm\frac{m}{(a+b)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left[\frac{(a+b)\sin\varphi - m\lambda}{a+b}\right]^2}}$$

b) Khi $\varphi \to 0$. Tìm $\dfrac{d\theta}{d\lambda}$?

5.17. Ngôi sao HD 215441 là 1 trong những sao thuộc lớp sao có từ trường mạnh nhất, chúng có ký hiệu là Ap. Nếu cảm ứng từ B của

sao có giá trị 3,4T. Hãy tính tần số và bước sóng của các thành phần bức xạ được tách ra từ đường H_α: 6563Å do hiệu ứng Zeemann thường.

BÀI TẬP THỰC HÀNH

5.1. Xác định tiêu cự kính thiên văn chiết quang bằng phương pháp đơn giản có thể được.

5.2. Dùng phim màu nhạy sáng, lắp vào máy ảnh ống kính dài, chụp ảnh tinh vân M42 thuộc chòm Orion và tinh vân M8 trong chòm sao Nhân Mã (Sagittarius).

5.3. Tìm nơi không bị ánh sáng nhân tạo làm loá bầu trời đêm, gắn máy ảnh đã được lắp phim ASA 1000 lên chân máy cố định.

a) Hướng ống kính về vùng trời chứa sao Bắc Cực chụp ảnh bầu trời với thời gian lộ sáng là 5min, 10min, 20min, 40min. Đem rửa phim chụp được, nhưng không cần in, đưa vào máy phóng lên 3 lần để nhìn rõ, ảnh các sao (là các chấm đen trên nền sáng). Hãy căn cứ đường kính chấm đen chia các ảnh đó thành 3 loại theo thứ tự tăng dần của r. Có nhận xét gì từ kết quả ghi được.

b) Nếu về mùa đông hãy chụp ảnh cụm sao khuếch tán M45 trong chòm sao Kim Ngưu (Taurus). Nếu về mùa hè hãy chụp đai của chòm Orion.

Chương VI

MẶT TRỜI – NGÔI SAO GẦN TA NHẤT

Mặt Trời là ngôi sao gần gũi và quyết định nhất đến sự ra đời và tồn vong của Trái Đất, của muôn loài sống trên hành tinh đặc biệt này, nên từ lâu đã được nhân loại để tâm nghiên cứu. Nhiều đặc điểm và hiện tượng lý thú diễn ra ở phần ngoài của Mặt Trời khá dễ dàng quan trắc và lý giải được trong khuôn khổ nhận thức và năng lực kỹ thuật của nhân loại trên Trái Đất. Bên cạnh đó vẫn còn nhiều điều tỏ ra khá bí ẩn đến kỳ lạ, do đó những mô hình nhằm mô tả cấu trúc, mô tả sự xuất hiện các hiện tượng đặc trưng của Mặt Trời, có lẽ còn lâu mới phản ánh hết mọi chi tiết của các dữ liệu do quan trắc đưa lại.

Trong thế giới sao, Mặt Trời chỉ là ngôi sao trung bình yếu cả về khối lượng, kích thước và tuổi đời, tuy nhiên do nó ở vị trí " đắc địa" là gần chúng ta nhất và nó lại thuộc dãy sao chính (theo cách phân loại của Russel–Hertgsprung), nên nhân loại đã nhìn được rõ nhất các chi tiết bề mặt. Vì lẽ đó, nghiên cứu Mặt Trời ngoài ý nghĩa để hiểu đúng hiện tượng, để vận dụng hiểu biết đó vào việc bảo vệ môi trường sống trên Trái Đất, còn có ý nghĩa quan trọng giúp ta có cơ sở để hiểu thế giới vô vàn các sao trong vũ trụ.

I- MẶT TRỜI – NGÔI SAO ỔN ĐỊNH THUỘC NHÓM G2V

1. Những thiết bị giúp chúng ta thu thập số liệu về Mặt Trời

Mặt Trời chiếm vị trí số một về độ dọi sáng. Bằng mắt thường ta khó nhìn thẳng vào Mặt Trời, do đó để quan sát nó ta phải dùng phin lọc sáng bảo vệ mắt và các thiết bị ghi nhận khác tránh bị bức xạ Mặt Trời thiêu cháy.

Vì độ dọi sáng lớn, nên nếu hướng kính thiên văn lên Mặt Trời, dễ gây ra hư hỏng kính. Nếu vô ý nhìn Mặt Trời qua kính thiên văn không có phin lọc giảm sáng thì chắc chắn bị hỏng mắt. Do đó ta chỉ nhìn Mặt Trời qua kính khi biết chắc phía trước vật kính đã được gắn thêm phin lọc giảm độ dọi sáng hoặc được gắn thêm phin lọc đơn sắc (thường là phin lọc H_α cho bức xạ có $\lambda = 6563Å \pm \Delta\lambda$ đi qua). Ngay cả khi có phin lọc giảm độ dọi sáng, người ta cũng ít khi nhìn trực tiếp

qua kính, mà thường nhìn ảnh Mặt Trời được chiếu lên màn gắn phía sau kính (xem hình VI.1).

Hình VI.1

Quan sát Mặt Trời diễn ra ban ngày, tuy khá thuận lợi về bố trí thời gian, nhưng vấn đề chống nóng đã làm cho việc quan trắc Mặt Trời trở thành một thách thức lớn của thiên văn quan trắc. Việc chống nóng không chỉ đơn thuần bảo vệ cho thiết bị khỏi thiêu cháy, mà còn phải giảm thiểu loạn lưu của khí quyển quanh không gian đặt kính. Do đó các nhà thiên văn phải thiết kế đài quan trắc chuyên dụng trong đó chứa đựng các kính dẫn bức xạ Mặt Trời, kính thiên văn quan sát Mặt Trời (Solar Telescope) và các thiết bị bổ trợ khác (xem hình VI.2).

Hình VI.2

Nhờ những dụng cụ chuyên dụng như máy đo độ dọi sáng, máy trắc phổ Mặt Trời, đến nay chúng ta đã biết khá nhiều thông tin về hình dạng, kích thước, nhiệt độ và thành phần các nguyên tố hoá học cấu tạo nên Mặt Trời. Từ khi kính thiên văn cao không đầu tiên nghiên cứu Mặt Trời ra đời năm 1956 cho đến nay đã xuất hiện nhiều thiết bị chuyên dụng khác được đưa ra ngoài khí quyển Trái Đất để quan trắc Mặt Trời. Trong số những thiết bị đó, máy ghi ảnh Doppler – Michelson MDI (Michelson Doppler Imager), máy đo sự thay đổi nhỏ của bức xạ quang cầu và dao động nhỏ của trường hấp dẫn VIGO (Variability of Solar Irradiation and Gravity Oscillations) đã được thiết kế cho mục đích nghiên cứu quang cầu của Mặt Trời. Còn muốn thu thập thông tin nhằm tìm hiểu cấu trúc trong lòng Mặt Trời, người ta đã tạo ra thiết bị tương tự như VIGO nhưng rất nhạy với tần số thấp, thiết bị đó có tên là GOLF (Global Oscillation at low frequence). Nhật hoa – nơi mật độ vật chất rất thấp, nhiệt độ lại rất cao – là một môi trường chứa nhiều điều khó hiểu đối với vật lý thông thường. Vì lẽ đó các nhà thiên văn đã thiết kế ra thiết bị ghi phổ nhật hoa (Coronagraph spectrometer), máy thăm dò môi trường nhật hoa CDS (Coronal Diagnostics Spectrometric coronagraph), máy ghi phổ nhật hoa ở góc rộng LASCO (Large Angle and Spectrometric Coronagraph). Kết hợp với kính thiên văn chụp ảnh làm việc ở vùng sóng tử ngoại EUIT (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope) đã đưa lại một kho dữ liệu phong phú về Mặt Trời. Qua sự gia công của các chuyên gia vật lý Mặt Trời, chúng ta đã biết được những nét khái quát như sau về Mặt Trời.

2. Những nét cơ bản về Mặt Trời

Từ Trái Đất ta luôn thấy Mặt Trời hiện lên như đĩa sáng có đường kính góc $\alpha = 0{,}5^o$. Điều này cho ta kết luận Mặt Trời là khối cầu nóng sáng. Nhờ các thiết bị đo góc chính xác và nhờ nâng cao độ chính xác của phép đo thị sai chân trời, đến nay người ta đo được góc mà tâm Mặt Trời nhìn bán kính Trái Đất, nó có giá trị $p_\odot = 8{,}794'' \pm 0{,}007''$. Nếu coi bán kính Trái Đất $R_đ = 6400$ km ta tính được khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời là $D = R_đ / p_\odot = 150$ triệu kilômét (chính xác là 149.597.870km = 1 đơn vị thiên văn, viết tắt là 1 đ.v.t.v). Do đó ta biết thêm bán kính Mặt Trời $R_\odot = \frac{1}{2}\alpha D = 696.000$ km, tức là gấp 109 lần bán kính Trái Đất.

Biết Trái Đất hằng ngày quay quanh Mặt Trời với chu kỳ gần 365,25 ngày trên đường elip gần tròn với bán kính 150 triệu kilômét, áp dụng định luật III Kepler tổng quát:

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{G(m_đ + M_\odot)}{4\pi^2}$$

Ta tính được tổng khối lượng Mặt Trời và Trái Đất $(m_đ + M_\odot) = 2.10^{30}$ kg. Chúng ta đã biết khối lượng Trái Đất $m_đ = 6.10^{24}$ kg, nên suy ra khối lượng Mặt Trời $M_\odot \approx 2.10^{30}$ kg xấp xỉ 330 nghìn lần khối lượng Trái Đất. Tính trung bình mật độ khối lượng của Mặt Trời là $\rho_\odot = 1,41.10^3$ kg/m^3 chỉ nặng gần gấp rưỡi nước và bằng 1/4 khối lượng riêng trung bình của Trái Đất.

Coi rằng khối lượng Mặt Trời phân bố đối xứng cầu, ta tính được gia tốc trọng trường tại bề mặt của nó là $g_R = \frac{GM_\odot}{R_\odot^2} = 272$ m/s^2, tại đó một vật muốn thoát ra khỏi sức hút Mặt Trời phải có vận tốc tối thiểu là :

$$v = v_{II} = \sqrt{\frac{2GM_\odot}{R_\odot}} = 620\,\text{km/s!}$$

Đứng trên Trái Đất, ta nhìn thấy Mặt Trời có cấp sao nhìn thấy $m_\odot = -26,7$ và cho rằng Mặt Trời có tuổi thọ không ít hơn tuổi thọ Trái Đất. Điều đó buộc ta nghĩ đến nguồn năng lượng nào đã duy trì cuộc đời dài như vậy của Mặt Trời? Qua phép đo năng lượng bức xạ Mặt Trời gửi đến 1cm^2 ở Trái Đất đặt vuông góc với phương tia sáng đến trong thời gian 1 phút, sau khi đã hiệu chỉnh mất mát trên đường đi, người ta nhận được giá trị 8,15 Jun. Giá trị đó được đo liên tục trong nhiều năm, ở nhiều nơi cho thấy nó tỏ ra không thay đổi đáng kể. Do đó nó có tên gọi là hằng số Mặt Trời $a_\odot$. Như vậy $a_\odot = 8,15$ J.cm^{-2}.min^{-1}. Nếu coi rằng Mặt Trời bức xạ đẳng hướng, nó cách Trái Đất gần 150 triệu kilômét, nên ta tính được công suất bức xạ toàn phần của Mặt Trời là:

$$W_\odot = 4\pi D^2.a_\odot = 3,9.10^{26}\,\text{W}$$

Công suất này do quả cầu nóng sáng có bán kính $R_\odot = 696000$ km phát ra, nên mật độ công suất phát xạ của bề mặt Mặt Trời sẽ là:

$$\varepsilon_\odot = W_\odot / 4\pi R_\odot^{\,2} = 6,5.10^{15}\ \text{W/m}^2$$

Nếu muốn tìm hiểu chi tiết năng lượng đó được phân bố như thế nào cho từng loại bức xạ đơn sắc, ta thiết lập phép đo theo sơ đồ nguyên lý được biểu diễn trên hình VI.3a.

Hình VI.3a

Thông qua chỉ số của G khi đầu dò T_x lần lượt tiếp xúc với vạch phổ ứng với các λ_x khác nhau còn đầu dò T_1 được giữ ở nhiệt độ rất thấp xác định, ta biết được năng lượng bức xạ dọi tới được phân bố theo λ_x như thế nào. Kết quả đo hiện nay các nhà vật lý Mặt Trời xác định được như trên hình (VI.3b).

Hình VI.3b

Chứng tỏ Mặt Trời bức xạ tuân theo quy luật chỉ rất gần với quy luật bức xạ của vật đen. Nếu coi tuổi Mặt Trời không nhỏ hơn tuổi Trái Đất là 4,5 tỷ năm, ta sẽ thử xem vì sao Mặt Trời đủ năng lượng

để duy trì công suất bức xạ khổng lồ đó, liệu sẽ còn duy trì được bao lâu và khi hết năng lượng Mặt Trời sẽ chết như thế nào?

3. Vì sao Mặt Trời duy trì được hình dạng và công xuất bức xạ ổn định?

Để có thể trả lời được câu hỏi trên, ta hãy từ những số liệu ở (VI.2) đi tìm xem nhiệt độ vật chất tại miền đã trực tiếp gửi bức xạ đến chúng ta bao nhiêu? Một cách gần đúng, áp dụng các định luật bức xạ của vật đen cho trường hợp của Mặt Trời ta được kết quả sau đây:

– Theo định luật Stefan – Boltzmann:

$$\varepsilon_{\odot} = \sigma T^4 \approx \sigma T^4_{\odot hd} \Rightarrow T_{\odot hd} \approx 5800K$$

– Nhìn lên đồ thị phân bố ta thấy Mặt Trời bức xạ chủ yếu ở bức xạ có bước sóng $\lambda = \lambda_{max} = 4738Å$. Theo định luật dịch chuyển Wien ta có:

$$\lambda_{max}.T_{\odot} \approx \lambda_{max}.T = b \Rightarrow T_{\odot} \approx 6000\ K.$$

Hai cách tính nhiệt độ cho hai kết quả không trùng nhau mà chỉ xấp xỉ nhau, càng chứng tỏ Mặt Trời chỉ được coi gần đúng như một vật đen. Ta có thể cho rằng quang cầu – phần Mặt Trời trực tiếp gửi bức xạ điện từ có phổ liên tục đến ta có nhiệt độ hiệu dụng $T_{hd} = 6000\ K$. Tại nhiệt độ cao đó, vật chất phải ở trạng thái khí. Khí đó là khí thực hay khí lý tưởng? Muốn vậy ta hãy thử đánh giá áp suất và nhiệt độ khí tại quang cầu. Trước hết ta hãy đánh giá giá trị trung bình của chúng cho toàn bộ Mặt Trời, sau đó suy ra cho quang cầu.

a) Áp suất và nhiệt độ trung bình của Mặt Trời

Quang cầu có kích thước và nhiệt độ hiệu dụng cao và không đổi, chứng tỏ ta có thể coi Mặt Trời như một quả cầu khí nóng sáng ở trạng thái cân bằng thuỷ tĩnh và cân bằng nhiệt động. Vật chất phân bố đối xứng cầu nên mật độ khối sẽ là hàm chỉ của bán kính r.

Hình VI.4

Xét lớp vật chất dm_r nằm giữa hai lớp cầu bán kính r và r + dr (xem hình VI.4).

$$dm_r = \rho_r.4\pi r^2 dr \qquad (VI.1)$$

Lực tác dụng lên phần tử vật chất dm_r gồm áp lực tĩnh học ở hai mặt, trọng lượng bản thân khối vật chất dm_r. Nếu khi cân bằng khí động ta có:

$$-(p_r + dp_r) + p_r = \rho_r . g_r dr \text{ với } g_r = \frac{Gm_r}{r^2} \qquad \text{(VI.2)}$$

Suy ra $$dp_r = -\rho_r . g_r dr \qquad \text{(VI.3)}$$

Từ (VI.1), (VI.2) và (VI.3) ta có:

$$dp_r = -\frac{Gm_r}{4\pi r^4} dm_r \qquad \text{(VI.4)}$$

Theo định nghĩa trị áp suất trung bình:

$$\bar{p} = \frac{1}{M}\int_{r=0}^{r=R_\odot} p_r dM_r = \frac{1}{M}\left[p_r M_r \Big|_0^{R_\odot} - \int_{r=0}^{r=R_\odot} M_r dp_r \right]$$

Coi vật chất ở phía trên bề mặt quang cầu là không đáng kể nên khi $r = R_\odot$ thì $p_r = 0$, do đó:

$$\bar{p} = -\frac{1}{M}\int_{r=0}^{r=R_\odot} M_r dp_r \qquad \text{(VI.5)}$$

Thay biểu thức dp_r ở (VI.4) vào biểu thức (VI.5) ta có:

$$\bar{p} = \frac{1}{M}\int_{r=0}^{r=R_\odot} \frac{GM_r^2}{4\pi r^4} dM_r \geq \frac{1}{M} . \frac{G}{4\pi R_\odot^4}\int_{r=0}^{r=R_\odot} M_r^2 dM_r = \frac{GM_\odot^2}{12\pi R_\odot^4} \qquad \text{(VI.6)}$$

Thay giá trị của $M_\odot \approx 2.10^{30}$ kg, $R_\odot = 696.000$ km vào biểu thức trên ta được:

$$\bar{p} \geq 3.10^{13} \text{ N/m}^2$$

Nếu coi khối vật chất này như một khối khí tuân theo gần đúng khí lý tưởng thì:

$$\bar{p} = \bar{n}k\bar{T} = \frac{\bar{\rho}R\bar{T}}{\bar{\mu}} \Rightarrow \bar{T} = \frac{\bar{\mu}\bar{p}}{\bar{\rho}R} \qquad \text{(VI.7)}$$

Với $\bar{\mu}, \bar{\rho}$ lần lượt là khối lượng mol và khối lượng riêng trung bình, $R = 8,31$ J/mol.K; ta suy ra: $\bar{T} = \bar{T}_\odot \approx 3.10^6$ K.

Theo (VI.2) nhiệt độ quang cầu $T = T_{hd} = 6000$ K, trong khi đó $\bar{T}_\odot \approx 3.10^6$ K, chứng tỏ càng đi sâu vào trong lòng nhiệt độ càng tăng và dĩ nhiên, áp suất, mật độ khối lượng cũng tăng theo (xem bảng VI.1).

BẢNG VI.1 CÁC THÔNG SỐ VỀ CẤU TẠO BÊN TRONG CỦA MẶT TRỜI

Khoảng cách tới tâm ($r / R_{\odot}$)	Nhiệt độ T (10^6K)	Áp suất p (N/m^2)	Mật độ khối lượng (10^3 kg/m^3)
0	15,0	$2,2.10^{16}$	150,0
0,2	10,0	$4,6.10^{15}$	36,0
0,5	3,4	$6,1.10^{13}$	1,3
0,8	1,3	$6,2.10^{11}$	0,035
0,98	0,1	10^9	0,001

b) Thành phần các nguyên tố cấu tạo nên Mặt Trời

Vào năm 1814 lần đầu tiên Joseph Von Fraunhofer (1787 – 1826) đã ghi được ảnh vạch phổ hấp thụ của Mặt Trời.

Hình VI.5

Theo quy tắc hấp thụ Kirchoff, ta thấy rằng phổ vạch phát xạ hoặc hấp thụ là cơ sở để ta nhận biết sự có mặt của nguyên tố đã sản sinh ra phổ vạch đó. Kết hợp với cơ học lượng tử và vật lý thống kê ta biết thêm giá trị số lượng các hạt đã tham gia bức xạ, từ đó biết được độ phổ biến tỷ đối của các nguyên tố có mặt trong môi trường vật chất. Kết quả phân tích phổ vạch hấp thụ cho ta kết quả ở bảng VI.2.

BẢNG VI.2

Tên nguyên tố	Ký hiệu nguyên tố	Nguyên tử số	Số hạt trong cùng một thể tích	Độ phổ cập tương đối n_i / N (%)
Hyđrô	H	1	10^5	94,00
Hêli	He	2	98.000	05,87
Ôxy	O	8	850	≈ 0,13
Cacbon	C	6	400	≈ 0,13
Nêôn	Ne	10	120	≈ 0,13
Nitơ	N	7	100	≈ 0,13
Sắt	Fe	26	47	≈ 0,13
Magiê	Mg	12	38	≈ 0,13
Silic	Si	14	35	≈ 0,13
Lưu huỳnh	S	16	16	≈ 0,13
Acgon	Ar	18	04	≈ 0,13
Nhôm	Al	13	03	≈ 0,13
Canxi	Ca	20	02	≈ 0,13
Natri	Na	11	02	≈ 0,13
Niken	Ni	28	02	≈ 0,13

Từ kết quả này có thể sơ bộ kết luận rằng Mặt Trời là khối khí trong đó độ phổ cập tương đối của hyđro chiếm 94%, hêli chiếm 5,87% còn lại 0,13% là các nguyên tố khác nặng hơn hêli có tên chung là nguyên tố kim loại (the metal element). Nếu tính theo tỷ lệ phần trăm khối lượng toàn bộ Mặt Trời thì ta có bảng sau:

BẢNG VI.3

Hyđrô	Hêli	Ôxy	Cácbon	Sắt	Các nguyên tố khác
78,5%	19,7%	0,86%	0,4%	0,14%	0,54%

Căn cứ vào đặc trưng phổ bức xạ, trong bản phân loại MKK, Mặt Trời thuộc nhóm G2V.

c) Nguồn gốc năng lượng của Mặt Trời

Mặt Trời bức xạ ra không gian xung quanh với công suất trung bình là $3{,}9.10^{26}$W trong suốt thời gian khoảng 4,6 tỷ năm và còn có thể duy trì khoảng chừng ấy thời gian nữa. Vậy ta thử xem năng lượng này bắt nguồn từ đâu?

Có thể do năng lượng của phản ứng hoá học của các chất tạo nên Mặt Trời chăng? Tính toán chi tiết cho thấy nguồn năng lượng này

quá bé chỉ đủ duy trì mức độ bức xạ như hiện nay của Mặt Trời trong vòng 30 năm. Ta có thể nghĩ tới một kiểu phản ứng hiệu suất 100% tức toàn bộ vật chất tạo nên Mặt Trời đều chuyển thành năng lượng theo công thức $E = mc^2$. Khi đó Mặt Trời có thể tồn tại trong vòng 10^{19} năm. Tuy nhiên các nguyên tố nặng trong Mặt Trời có số nơtron và proton bằng nhau mà hạt proton thì cực kỳ bền vững nên chúng không thể tự phát chuyển thành năng lượng dưới dạng bức xạ.

Năng lượng hấp dẫn có đủ khả năng không?

Người đầu tiên có ý tưởng tìm nguồn gốc năng lượng Mặt Trời từ thế năng hấp dẫn là Kenvin và ý tưởng này phát triển mạnh ở đầu thế kỷ XX.

Áp dụng định lý Virial (Virial Theorem), ta thu được cơ năng vật chất tạo ra Mặt Trời được tính theo công thức.

$$E \approx -\frac{3}{10}\frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot}} \qquad \text{(VI.8)}$$

Cho rằng xưa kia Mặt Trời vẫn có khối lượng như bây giờ, có bán kính vô cùng lớn do hấp dẫn nó dồn nén đến kích thước bây giờ thì phần năng lượng do chênh lệch đó đã chuyển thành nhiệt năng rồi từ đó thành năng lượng bức xạ ra không gian sẽ là:

$$\Delta E = -(E_2 - E_1) = 0 - \left(-\frac{3}{10}\frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot}}\right) = \frac{3}{10}\frac{GM_{\odot}^2}{R_{\odot}}$$

Mặt Trời duy trì công suất bức xạ như hiện nay trong thời gian τ thì:

$$\tau = \frac{\Delta E}{W} \approx 10^7 \text{ năm tức chỉ khoảng chục triệu năm.}$$

Tháng 8 /1989 trên tạp chí Scientific American trang 90–96 đăng bài viết về kỹ thuật tính tuổi đất đá theo luật phóng xạ cho thấy tuổi Mặt Trời ít nhất khoảng 4,6 tỷ năm. Vì vậy năng lượng hấp dẫn vẫn không đủ để duy trì cuộc sống của Mặt Trời!

Vậy bây giờ ta đi tìm từ nguồn năng lượng hạt nhân

Năng lượng hạt nhân có thể là năng lượng phân hạch hoặc năng lượng nhiệt hạch do phản ứng tổ hợp hạt nhân nhẹ thành hạt nhân nặng hơn. Từ những số liệu ở (VI.3.2) ta có thể loại trừ nguồn năng lượng từ phản ứng phân hạch, chú ý phân tích để chứng tỏ rằng trong lòng Mặt Trời hội tụ đầy đủ điều kiện để có phản ứng nhiệt hạch và nguồn năng lượng đó đủ để duy trì cuộc sống lâu dài của Mặt Trời. Đồng

thời qua đây ta sẽ hình dung được sự tiến hoá và số phận tương lai của Mặt Trời và các thành viên của hệ, trong đó có Trái Đất chúng ta.

Điều kiện để có phản ứng tổ hợp hạt nhân nhẹ: môi trường đó phải giàu nguyên tố nhẹ, nguyên tử các nguyên tố đó phải được ion hoá tức là phải bóc hết lớp vỏ các electron quay quanh hạt nhân để chỉ còn lại các hạt nhân. Đến lượt các hạt nhân nhẹ phải tiến đến gần nhau sao cho khoảng cách tương đối giữa chúng phải nhỏ hơn bán kính tác dụng của lực hạt nhân $r_0 = 10^{-15}$m. Muốn tiến đến khoảng cách đó chúng phải đủ năng lượng để thắng thế năng Coulomb kq_1q_2/r. Thực ra do hiệu ứng đường hầm các hạt nhân nhẹ chỉ cần đến khoảng cách sao cho $r \le \lambda_D$ với λ_D là bước sóng de Broglie ứng với chuyển động nhiệt của các hạt nhẹ đó.

Ta thử xem trong lòng Mặt Trời có hội tụ đủ cả ba điều kiện đó không? Trong (VI.3.2) Mặt Trời có 94% tổng số hạt là hyđrô lại ở nhiệt độ trung bình $T = 3.10^6$K nên rõ ràng hyđrô ở gần tâm Mặt Trời đều đã bị ion hoá thành các hạt proton mang điện dương.

Điều kiện 3 được viết lại dưới dạng:

$$\begin{cases} \dfrac{\mu\bar{v}^2}{2} \ge \dfrac{Z_1Z_2e^2}{r} \\ r \sim \lambda_D = \dfrac{h}{\mu\bar{v}} \\ \dfrac{\mu\bar{v}^2}{2} = \dfrac{3}{2}kT \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dfrac{Z_1Z_2e^2}{\lambda_D} \le \dfrac{h^2}{2\mu\lambda_D^2} \\ \dfrac{3}{2}kT \ge \dfrac{Z_1Z_2e^2}{\lambda_D} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \lambda_D \le \dfrac{h^2}{2\mu Z_1Z_2e^2} \\ T \ge \dfrac{2Z_1Z_2e^2}{3k\lambda_D} \end{cases} \Rightarrow T \ge \frac{4\mu\left(Z_1Z_2e^2\right)^2}{3kh^2} \quad \text{(VI.9)}$$

Áp dụng $k = 1,38.10^{-23}, h = 6,62.10^{-34}$ Js, $Z_1 = Z_2 = 1; e = 1,6.10^{-19}$C; $\mu = \dfrac{m_p}{2}$

thì $T \ge 10^7$ K tức hàng chục triệu độ Kenvin.

Chú ý trong (VI.3.1) ta có $\bar{T}_\odot = 3.10^6$ K, còn ở VI.3 ta tính được

$T_{\text{quang cầu}} = 6000$ K, chứng tỏ càng vào sâu trong lòng nhiệt độ càng tăng và chắc chắn phải tăng nhanh để gần tâm $T \approx 10^7$ K.

Sau phản ứng nó toả ra năng lượng $\Delta E = \Delta m.c^2$, mà trong phản ứng

$4\,{}^1_1p \rightarrow {}^4_2He + \Delta E$ thì ΔE vào cỡ từ 18,24 MeV → 19,8 MeV → 26,6 MeV tùy đó là ppIII, ppI hay ppII.

Hiện nay theo lý thuyết hạt nhân và những hiểu biết về Mặt Trời, người ta cho rằng phản ứng ppI diễn ra theo trình tự sau:

$${}^1_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^2_1H + {}^0_1e^+ + \upsilon_e \text{ (1,44 MeV)}$$

$${}^2_1H + {}^1_1H \rightarrow {}^3_2He + \gamma \text{ (5,49 MeV)}$$

$${}^3_2He + {}^3_2He \rightarrow {}^4_2He + {}^1_1H + {}^1_1H \text{ (12,9 MeV)}$$

Kết quả $4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2e^{+} + 2\upsilon_{e} + 2\gamma$ với độ hụt khối $\Delta m = 0,03m_{p}$ (bằng 0,03 lần khối lượng một hạt proton) đang diễn ra trong Mặt Trời và trong các sao loại phổ G2. Quá trình đó được mô tả theo sơ đồ hình VI.6 sau đây.

Hình VI.6

Tính chi tiết ta sẽ thấy rằng Mặt Trời nếu tiêu thụ năng lượng như mức độ hiện nay thì có thể tồn tại thêm hơn 5 tỷ năm nữa.

Đến đây ta có thể hỏi tại sao không xảy ra chuyển trực tiếp $4\,{}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{4}_{2}He$ mà phải trải qua nhiều bước trung gian giữa từng cặp hạt? Lý giải chi tiết sẽ vượt ra ngoài yêu cầu của thiên văn đại cương, nhưng ta có thể tạm hiểu: sự va chạm giữa các hạt ở nhiệt độ cao là sự kiện ngẫu nhiên, tuân theo quy luật xác xuất thống kê. Do đó xác suất để đồng thời 4 hạt ${}^{1}_{1}H$ cùng gặp nhau sẽ nhỏ hơn rất nhiều xác xuất gặp nhau giữa từng cặp hạt. Một chú ý thứ hai cần được đề cập ở đây là tại sao năng lượng nhiệt hạch toả ra cực lớn như vậy, vật chất trong lòng Mặt Trời bằng cách nào không chế được tốc độ diễn ra phản ứng để không xảy ra hiện tượng bùng nổ kiểu bom hạt nhân nếu tốc độ phản ứng quá lớn, hoặc Mặt Trời sẽ sụp đổ nếu trọng lực vượt quá áp suất bức xạ do tốc độ phản ứng hạt nhân quá bé. Vấn đề là ở chỗ tốc độ diễn ra phản ứng nhiệt hạch thay đổi rất nhanh khi thay đổi nhiệt độ môi trường (với chu trình pp tốc độ tăng theo T^{4}, chu trình C-N-O tăng theo T^{15}). Ta thử tưởng tượng vì một lý do nào đó tốc độ phản ứng nhiệt hạch tăng, năng lượng toả ra sẽ làm tăng áp

suất bức xạ dẫn đến sao giãn nở tới kích thước mới sao cho cân bằng với áp lực nén do hấp dẫn. Nhưng sự giãn nở sẽ làm nhiệt độ vật chất trong sao giảm xuống, lập tức làm giảm tốc độ phản ứng nhiệt hạch và vì thế là áp suất bức xạ sẽ giảm, gây ra trạng thái co lại của sao. Sao bị co lại sẽ tăng nhiệt độ trở lại. Kết quả sự cân bằng sẽ được tái thiết lập giữa tốc độ phản ứng nhiệt hạch và sự nén do hấp dẫn, khi đó tốc độ phản ứng giữ giá trị không đổi.

Đến đây ta có thể hình dung được rằng đến khi dùng hết nhiên liệu phản ứng nhiệt hạch, áp suất bức xạ giảm nhanh, sự cân bằng thuỷ tĩnh bị phá vỡ, khi đó vật chất trong lòng sao bị nén lại do lực hấp dẫn đòi hỏi phải có lực mới để chống lại sự nén hấp dẫn. Nếu lực chống đỡ không có hoặc không đủ thì sẽ diễn ra sự đổ sụp của sao do hấp dẫn mà ta sẽ gặp trong mục nói về sự tiến hoá của các sao.

d) Sự chuyển tải năng lượng từ trong lòng ra ngoài của Mặt Trời

Kinh nghiệm sống hàng ngày cho chúng ta biết rằng nhiệt năng được sinh ra trong một quá trình nào đó, tại một vùng xác định sẽ không định xứ tại đó mà sẽ được truyền ra xung quanh có thể theo một, hai hay cả ba phương thức: truyền qua con đường bức xạ, truyền trực tiếp, truyền dẫn nhờ đối lưu của khối vật chất. Năng lượng toả ra từ phản ứng nhiệt hạch diễn ra trong lòng Mặt Trời, chính xác hơn là tại miền lõi bao quanh tâm Mặt Trời, cách tâm từ $0 \rightarrow 0,2.R_{\odot}$, ở đó $\bar{T} \approx 15$ triệu độ, được truyền ra ngoài bằng hai cách: nó khuếch tán ra ngoài qua vùng bức xạ (radiation zone) nhờ cơ chế hấp thụ và phát xạ lại. Cụ thể là tại vùng lõi nhờ phản ứng nhiệt hạch, giả sử một photon có năng lượng $\varepsilon = hf$ được sinh ra, nó không thể chạy thẳng ra ngoài mà nó phải trải qua vô vàn va chạm với các hạt lân cận, bị tán xạ, bị hấp thụ và rồi được phát xạ lại. Kết quả photon đó đi theo con đường dích dắc với vô số lần đổi hướng, thay hình đổi dạng nên mất một khoảng thời gian không dưới một triệu năm mới thoát ra khỏi quang cầu để đi vào vũ trụ và có thể đến chúng ta. Lý thuyết truyền bức xạ cho ta biểu thức tính số lần chuyển hướng dích dắc $N = \tau_{\lambda}^{2}$ với $\tau_{\lambda} = \int_{0}^{s} K_{\lambda}\rho ds$, là độ dày quang học của môi trường mà bức xạ λ đi qua. Muốn vượt qua quãng đường d, một photon có năng lượng $\varepsilon = hf$ có quãng đường tự do trong lõi Mặt Trời $l = 1\,cm$ sẽ phải đi theo đường

dích dắc qua N khúc thoả mãn $d = l\sqrt{N}$. Điều này giải thích nếu chỉ hình thức bức xạ lại thì không đủ để truyền năng lượng tư lõi Mặt Trời ra ngoài. Tiếp sức cho cách truyền bức xạ là truyền bằng đối lưu. Hình thức này diễn ra mạnh ở miền trên vùng bức xạ và nằm ngay dưới quang cầu và có một phần thuộc quang cầu (xem hình VI.7).

Hình VI.7

Tại sao ở vùng đối lưu, cơ chế bức xạ lại không hiệu nghiệm bằng cơ chế truyền đối lưu. Nguyên nhân chính là càng đi xa tâm, nhiệt độ môi trường càng giảm. Tại miền tiếp giáp với biên giới trên vùng bức xạ, nhiệt độ thấp tạo cơ hội để electron kết hợp với proton thành nguyên tử hydrô trung hòa. Khi đó môi trường vật chất vùng này trở nên rất không trong suốt, các photon không thể thoát ra ngoài nên

nhiệt độ vùng đó tăng cục bộ làm khí giãn nở địa phương, hình thành những khối khí nóng nhẹ dâng lên gặp khí lạnh nó truyền bớt nhiệt nên lạnh và nặng hơn xung quanh do đó lại ngụp sâu trở lại. Nếu chụp ảnh quang cầu ta thấy trên tấm ảnh xuất hiện độ sáng không đồng đều. Đĩa sáng quang cầu có nhiều hạt sáng với kích thước cực đại có thể tới 1500km rãi rác trên nền đĩa kém sáng hơn, các nhà thiên văn gọi là các hạt sáng (granula). Cấu trúc hạt sáng là chứng cớ nói lên sự tồn tại miền đối lưu ở phía dưới quang cầu (xem hình VI.8).

Hình VI.8

4. Mô hình cấu trúc lớp của Mặt Trời

Dựa trên các dữ liệu do các trạm quan trắc Mặt Trời ở mặt đất, các trạm cao không, với những hiểu biết hiện nay về vật lý và sự trợ giúp của máy tính điện tử, các nhà vật lý Mặt Trời cho rằng: Mặt Trời có cấu trúc được mô tả như hình VI.7.

Từ tháng 2/1991 hệ thống quan trắc toàn cầu (the Global Oscillation Network Group– GONG) đã vận hành nhằm kiểm tra những dự đoán về cấu trúc lớp và động lực học các quá trình xảy ra trong lòng, trên bề mặt và trong khí quyển Mặt Trời. Bước đầu có thể thấy khá phù hợp với mô hình được diễn tả ở hình VI.7.

Để kiểm tra mức độ chính xác của những mô hình mô tả cấu tạo,

tính chất vật lí của môi trường vật chất trong lòng, trong và trên quang cầu, chúng ta phải tìm cách ghi nhận được những "phần tử" đưa tin trực tiếp nơi "vụ việc" xảy ra. Có hai lĩnh vực giúp ta làm việc đó, chính là thái dương chấn học (helioseismology) và vật lí hạt nơtrinô Mặt Trời.

a) Thái dương chấn học

Nếu địa chấn học (seismology) giúp ta hiểu được cấu trúc trong lòng Trái Đất thì thái dương chấn học sẽ hỗ trợ chúng ta hiểu rõ hơn những gì diễn ra trong lòng Mặt Trời. Kỹ thuật dùng sóng thái dương chấn để thăm dò "cơ thể" Mặt Trời có nhiều nét tương đồng như kỹ thuật dùng tia X, dùng sóng siêu âm để thăm dò cấu trúc nội tạng con người. Chỉ khác ở chỗ sóng thái dương chấn được sử dụng là do chính Mặt Trời sinh ra.

Lần đầu tiên trên thế giới Robert Leighton, Robert Noyes và Greogria Simon đã thông báo ghi nhận sóng thái dương chấn vào năm 1962 và từ năm 1993 đã triển khai chương trình thuộc dự án GONG để đo những dao động âm học có chu kỳ hàng chục giây xảy ra trên quang cầu Mặt Trời.

Nguyên lý đo sóng âm học có thể tóm tắt như sau: sóng âm học khi lan truyền đến quang cầu làm cho các phần tử vật chất trong quang cầu dao động với biên độ xác định, dẫn đến bề mặt quang cầu lúc đi lại gần ta, lúc đi xa ta, nên bức xạ quang học do quang cầu phát ra sẽ chịu hiệu ứng Doppler. Nếu ghi nhận được độ lệch này ta sẽ biết được các đặc trưng của sóng thái dương chấn diễn ra tại quang cầu. Chúng ta biết rằng những quá trình vật lí diễn ra trong lòng Mặt Trời đều sản sinh ra năng lượng làm biến dạng khối vật chất tại đó và do vậy sẽ phát sinh những rung động có tần số xác định tùy thuộc vào tính chất vật lí của môi trường nơi phát sinh ra chúng. Đặc biệt tại vùng đối lưu trong Mặt Trời, những rung động tại đây sẽ làm cho quang cầu Mặt Trời rung lên như một cái chuông khi bị người ta gõ vào nó. Phân tích độ lệch sóng điện từ do hiệu ứng Doppler thấy rằng có thể có hàng triệu triệu sóng âm đã truyền đến quang cầu. Chu kỳ của những sóng âm này do độ sâu của các hộp cộng hưởng (the Resonant Cavities), do tốc độ lan truyền của các hộp cộng hưởng cũng như số mode cộng hưởng quyết định. Nếu đo được những chu kỳ này chúng ta có thể tạo các được thiết bị mới để dò tìm nhiệt độ trong từng miền hẹp thích hợp và thành phần hoá học các nguyên tố cấu tạo nên vật chất trong miền đó cũng như những đặc tính chuyển động khác.

Thành tựu bước đầu của thái dương chấn học xác nhận mô hình Mặt Trời được phác thảo như đã trình bày ở VI.4. Trong tương lai kỹ thuật thái dương chấn học sẽ được mở rộng sang lĩnh vực hành tinh chấn học (Asteroseis– mology).

b) Vấn đề nơtrino Mặt Trời

Nếu phản ứng tổ hợp proton thành hạt nhân ^4_2He theo chu trình pp1 thì photon được sinh ra là các lượng tử gamma. Tại nơi sinh ra, lượng tử gamma có quãng đường tự do vào cỡ l = 1cm, để vượt qua quãng đường bằng bán kính Mặt Trời theo (VI.3.4), photon đó phải đi theo con đường dích dắc, do đó phải mất hàng triệu năm mới thoát ra khỏi quang cầu. Hơn nữa khi ra khỏi Mặt Trời nó đã qua vô số lần tương tác với vật chất nên đã thay hình đổi dạng. Điều này có nghĩa rằng bức xạ điện từ đến từ Mặt Trời không phải là "người" trực tiếp đưa tin các hiện tượng xảy ra trong lòng nó nữa. Tuy nhiên, ngoài lượng tử gamma, phản ứng tổ hợp p – p còn sản sinh ra nơtrino không mang điện, có khối lượng hoặc bằng không, hoặc nếu có thì không lớn hơn 10^{-6} khối lượng của electron. Nơtrino chuyển động với tốc độ gần tốc độ ánh sang, hầu như không tương tác với vật chất nên chỉ mất 2 giây để vượt quãng đường bằng bán kính Mặt Trời và khoảng 8,5 phút sau là đến chúng ta. Nếu tạo ra được thiết bị bắt giữ nơtrino đến từ Mặt Trời ta sẽ biết chính xác môi trường vật chất đã sản sinh ra chúng, góp phần xác định độ xác thực của các lý giải về cấu trúc và nguồn gốc sản sinh ra năng lượng Mặt Trời.

Xác suất tương tác giữa nơtrino và vật chất nó gặp trên đường đi thấp đến nỗi khi qua môi trường chứa đầy chì (Pb) trên quãng đường bằng một năm ánh sáng, nơtrino vẫn không bị các nguyên tử chì trên đó bắt dừng lại. Nhưng số nơtrino sinh ra trong lõi Mặt Trời được phóng ra không gian theo mọi hướng lại lớn đến mức mà một người đứng ở Trái Đất xòe bàn tay ra có thể đã có hàng tỷ hạt nơtrino xuyên qua chỉ trong giây lát.

Trong hàng tỷ nơtrino đó nếu chúng đi qua một vài đồng vị có ở Trái Đất sẽ có một số ít trong chúng tương tác với các đồng vị rồi biến chúng thành đồng vị phóng xạ.

Ví dụ: $C_2Cl_4 + \tilde{\upsilon} \rightarrow {}^{37}Cl$

$Ga + \tilde{\upsilon} \rightarrow Ge$

Nơtrino gặp H_2O làm cho H_2O phát quang.

Các máy dò tìm nơtrino hoạt động dựa trên tính chất vừa nêu chứa đến hàng trăm nghìn lít các chất kể trên, được đặt sâu trong lòng đất trên đó có khối đá dày hàng chục mét làm nắp đậy. Kết quả suốt trong một năm ròng, máy thu với khả năng thu gom lớn nhất cũng chỉ ghi được không quá vài chục hạt nơtrino!

Hình VI.9

Vì tầm quan trọng của việc thu nhận nơtrino đến từ Mặt Trời đối với vật lý Mặt Trời và vật lý các sao, nên hiện nay trên thế giới một số quốc gia như Mỹ, Nhật, Canada đều độc lập lắp đặt các thiết bị đếm nơtrino tại các hầm sâu trong lòng đất. Kết quả là:

Các thiết bị đếm đều cho cùng kết quả và đều chỉ đạt được khoảng từ $1/3 \rightarrow 1/2$ số lượng nơtrino được dự đoán theo lý thuyết. Về sau họ cùng thay Cl bằng Gali để tăng khả năng bắt nơtrino năng lượng thấp, nhưng cũng chỉ thu được từ $1/2 \rightarrow 2/3$ số hạt dự kiến. Các nhà khoa học gọi tình trạng này là vấn đề nơtrino Mặt Trời (the solar neutrino problem). Vấn đề này được lý giải theo những cách khác nhau như sau:

• Phải chăng trong lòng Mặt Trời không có phản ứng nhiệt hạch?

• Các thí nghiệm chưa được thiết kế, lắp đặt thật chính xác trước khi làm thí nghiệm?

• Tốc độ diễn ra phản ứng p – p trong lòng Mặt Trời diễn ra chậm hơn so với tính toán lý thuyết hiện nay?

• Có nhiều loại nơtrino sinh ra trên đường đi đã thay hình đổi dạng biến thành nơtrino khác với khi nó được sinh ra ban đầu, trong khi đó máy thu chỉ ghi được một loại nơtrino nhất định nào đó?

Để biết chi tiết, chúng ta có thể tham khảo giáo trình hạt cơ bản và vật lý tia vũ trụ. Tại đây ta cần chú ý rằng chính trên con đường tìm cách lý giải kết quả đo nơtrino Mặt Trời nhằm giúp ta hiểu rõ hơn về cấu trúc vật chất, các nhà thiên văn đã học được nhiều điều bất ngờ thuộc vật lý hạt cơ bản buộc ta phải thay đổi nhận thức trước đây của chúng ta về cấu trúc và các tính chất của toàn bộ vũ trụ. Đặc

biệt, trong thí nghiệm đo nơtrino ở trạm đặt tại Kamiokande (Nhật Bản), máy dò đã ghi và xác định được nơtrino đến từ bùng nổ sao siêu mới SN1987A, một vụ nổ sao siêu mới diễn ra trong thiên hà láng giềng với thiên hà chúng ta.

Như vậy, trong khi thái dương chấn học cho nhiều chứng cớ quan trắc đưa lại ủng hộ lý thuyết mô tả cấu trúc Mặt Trời, ngược lại thực hành đo nơtrino vẫn cho nhiều kết quả khá kỳ lạ so với những gì mà lý thuyết hiện nay đã dự đoán.

II– SỰ HOẠT ĐỘNG CỦA MẶT TRỜI (THE SOLAR ACTIVITY)

Những số liệu về Mặt Trời cho ở phần I, được hiểu là giá trị trung bình, chúng ít biến đổi trong nhiều năm và rất gần với giá trị tương ứng đo được vào năm mà các nhà vật lý Mặt Trời gọi là năm Mặt Trời tĩnh, ví dụ như các năm 1957 – 1958, 1968 – 1969,..., 2006 –2007. Trong khi đó có những năm, nếu tiến hành đo đạc các đại lượng nói trên, ta sẽ được giá trị tương ứng lệch xa giá trị trung bình. Đồng thời với xê dịch lớn đó, chúng ta còn có thể phát hiện trên quang cầu Mặt Trời xuất hiện nhiều loại vết đặc trưng cho từng miền với số lượng khác thường so với năm Mặt Trời tĩnh. Như sau này sẽ rõ, những lúc quang cầu có nhiều vết đặc trưng thì những miền khác thuộc Mặt Trời cũng xuất hiện nhiều hiện tượng, nhiều vết lạ đặc trưng cho miền đó, lượng bức xạ do Mặt Trời gửi đến Trái Đất cũng thay đổi đáng kể. Khi đó ta nói rằng Mặt Trời hoạt động mạnh. Ví dụ năm 1990, 2001 và dự báo năm 2012 hoặc 2013 Mặt Trời sẽ hoạt động mạnh nhất trong 50 năm gần đây.

Đến nay người ta cho rằng nếu trong khí quyển Mặt Trời có rất ít thậm chí không có vết đặc trưng nào chính là lúc Mặt Trời ít hoạt động, hay nói gọn là Mặt Trời tĩnh; còn nếu thời kỳ nào trong khí quyển của nó xuất hiện nhiều vết đặc trưng với số lượng lớn, hình dạng khác thường thì lúc đó Mặt Trời đang hoạt động mạnh.

1. Khí quyển Mặt Trời

Khác với các thiên thể không tự phát sáng, Mặt Trời là một quả cầu khí nóng sáng, được hình dung có cấu trúc lớp như hình VI.7. Các lớp khí ngoài gồm quang cầu, sắc cầu, nhật hoa hợp thành một lớp lớn gọi là khí quyển Mặt Trời. Tại lớp này bức xạ do chúng phát ra mới có khả năng trực tiếp đi đến Trái Đất chúng ta. Quan niệm này hơi khác

với trước đây người ta chỉ xem sắc cầu và nhật hoa mới là khí quyển Mặt Trời. Theo chúng tôi, cách phân chia này hợp lý hơn, vì rằng vật chất trên Mặt Trời đều ở trạng thái khí, nhưng do khối lượng toàn bộ Mặt Trời rất lớn nên mật độ khí tại đó rất cao, nhất là càng đi gần tâm của nó. Do mật độ khí lớn, nên hệ số hấp thụ bức xạ điện từ, đặc biệt là bức xạ vùng quang học rất lớn. Do đó ánh sáng do Mặt Trời phát ra dọi trực tiếp vào mắt ta phải đi từ những lớp ngoài cùng của Mặt Trời. Lớp này được xem là khí quyển Mặt Trời với hàm ý nó trong suốt đối với bức xạ quang học. Chụp ảnh Mặt Trời qua ánh sáng trắng (có gắn bộ phận giảm độ dọi) và chụp bằng máy ghi hình Mặt Trời trong ánh sáng đơn sắc (spectroheliograph) H_α; CaII, tia X của đài quan sát thiên văn quốc gia Hoa Kỳ năm 1978 cho kết quả ứng với ảnh Mặt Trời ở những mức khác nhau trong khí quyển của nó (hình VI.10).

Hình VI.10

a) Quang cầu (Photosphere)

Lớp dưới cùng của khí quyển Mặt Trời đúng theo nghĩa đen của từ "quang cầu" là lớp "cầu sáng" (light sphere) phân bố đối xứng qua tâm Mặt Trời có độ dày khoảng 300 đến 500km. Đáy của lớp là mặt cầu chứa những điểm sâu nhất mà ta có thể nhìn tới được, đỉnh lớp cầu chứa những điểm từ đó các photon của ánh sáng có thể thoát ra khỏi Mặt Trời. Như vậy, quang cầu là lớp khí đối xứng cầu bao quanh tâm Mặt Trời trong suốt đối với ánh sáng nhìn thấy. Chụp ảnh quang cầu trong ánh sáng nhìn thấy, ta được một đĩa sáng có độ sáng trung bình giảm dần từ tâm ra phía mép đĩa. Các nhà thiên văn gọi đó là hiện tượng tối dần về mép đĩa. Nó là bằng chứng nói lên rằng nhiệt độ trong lòng Mặt Trời tăng dần từ ngoài vào trong. Thật vậy, giả sử ta có thể nhìn sâu vào trong lòng Mặt Trời một khoảng mà ta gọi là quang trình Δl kể từ bên ngoài của quang cầu. Khi đó nếu nhìn thẳng vào tâm đĩa ta nhìn đến điểm A_0, nhìn hơi xa tâm ta lần lượt đến điểm A_1, A_2... trong mặt phẳng kinh tuyến.

Hình VI.11

Rõ ràng A_0 gần tâm O hơn A_1, A_2... Vị trí ảnh của A_0, A_1, A_2... ứng với các điểm 0,1,2... Do đó độ sáng ảnh quang cầu phải giảm dần từ tâm tới đĩa. Nếu ảnh chụp có độ phân giải cao ta sẽ phát hiện những hạt sáng kích thước cỡ 700km nằm rải rác khắp trên nền sẫm tối hơn. Đây là hiện tượng tạo thành hạt sáng trong quang cầu (granulation). Qua phân tích phổ ánh sáng phát ra từ các hạt sáng và miền sẫm tối kề cạnh người ta thấy rằng quang phổ của bức xạ đi từ hạt sáng dịch về phía tím, trong khi đó bức xạ đi từ miền sẫm kế đó lại dịch về phía

đỏ. Áp dụng công thức $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{c}$ ta thấy $v_r = \pm(1 \div 2)$ km/s. Qua đây có thể thấy dòng vật chất trong hạt sáng đang được dâng lên cao còn vật chất ở miền tối kề cạnh lại đang hạ xuống vào tâm Mặt Trời. Hiệu ứng tạo thành hạt sáng trên nền quang cầu là biểu hiện của sự đối lưu của vật chất nằm ngay phần dưới quang cầu. Chính sự đối lưu này đã làm cho quang cầu luôn bị dòng vật chất đi từ dưới lên làm nhiễu động gây ra dao động cơ học lan truyền trên mặt quang cầu tựa như sóng âm trong khí quyển Trái Đất. Các máy đo thái dương chấn của GONG đã ghi được dao động này.

Vật chất trong quang cầu ở thể khí, nhưng do mật độ cao (từ 10^{16}–10^{17} hạt/cm^3), nên nó phát ra bức xạ phổ liên tục tuân theo gần đúng quy luật bức xạ của vật đen ở nhiệt độ 6000K. Tuy nhiên, quang cầu có độ dày đáng kể, lớp xa tâm có nhiệt độ thấp hơn lớp ở gần. Do đó bức xạ phổ liên tục đi từ lớp dưới khi đi qua lớp khí ở phía trên của quang cầu, do lớp này thưa hơn, nguội hơn nên nó hấp thụ một số bức xạ đơn sắc của bức xạ dọi tới. Kết quả ta được phổ vạch hấp thụ Fraunhoper. Nhờ máy ghi phổ Mặt Trời hiện đại, người ta ghi được hơn 30000 vạch phổ hấp thụ trên bức ảnh phổ dài 13m. Đối chiếu với phổ chuẩn các nguyên tố có mặt ở Trái Đất, và những kiến thức về quang phổ học, người ta đã tìm được các vạch Fraunhoper đó ứng với vạch hấp thụ của nguyên tố hyđrô, natri, canxi, sắt... Bằng cách đó đến nay đã tìm được ít nhất có 82 nguyên tố trong số 92 nguyên tố bền ở Trái Đất đều có mặt trong miền khí quyển Mặt Trời. Tuy nhiên đại bộ phận là hyđrô, hêli, các nguyên tố khác nặng hơn hêli chỉ chiếm 2% tổng khối lượng quang cầu. (Lý thuyết bức xạ của nguyên tử, phân tử; phương trình Boltzmann, phương trình Saha mô tả điều kiện cân bằng nhiệt động của khí trung hòa và khí ion hoá sẽ cho ta sơ đồ để phân tích định lượng nhờ nghiên cứu phổ vạch hấp thụ).

b) Sắc cầu (chromosphere)

Sắc cầu là lớp kế tiếp quang cầu có độ dày khoảng 2000 ÷ 3000km, vật chất tại đó có mật độ quá thấp, chủ yếu là hyđrô, nên hàng ngày nhìn bằng mắt thường hay kính thiên văn thông thường ta không thấy được nó bởi quang cầu ở phía dưới quá sáng. Chỉ khi xảy ra nhật thực toàn phần ta mới thấy sắc cầu sáng lên và có màu hơi đỏ. Nếu cho ánh sáng đó qua máy ghi phổ ta sẽ được phổ vạch phát xạ tương ứng

với đường H_α (6563 Å) của hydrô trung hòa, tiếp đến là những đường ứng với nguyên tố Na, Ca, Mg và của ion He. Qua máy đó còn thấy rằng vị trí vạch phát xạ có nhiều đường trùng với những đường của vạch hấp thụ xuất hiện ở lớp phía trên quang cầu mà ta đề cập ở phần trước. Vì lẽ đó sắc cầu có tên gọi là lớp đảo sắc.

Phân tích chi tiết phổ vạch phát xạ người ta thấy nhiệt độ của khí trong sắc cầu tăng theo độ cao được thể hiện qua hình (VI.12) trong phạm vi từ 4500K đến 400000K.

Hình VI.12

Từ hình vẽ này ta thấy rằng tại lớp dưới cùng của sắc cầu khí loãng, lại ở nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ quang cầu nên tại đó sẽ có phổ hấp thụ Fraunhofer đặc biệt là phổ hấp thụ của dãy Balmer. Tại vùng ở phía trên của sắc cầu, những nơi nhiệt độ là 10^4 K trở lên, khi đó khí sẽ cho phổ vạch phát xạ. Tại sao nhiệt độ sắc cầu càng lên cao càng tăng lên. Điều này được lý giải nếu ta nghiên cứu chi tiết về sự hấp thụ bức xạ đi từ quang cầu lên và sự truyền sóng xung kích của sóng âm và sóng âm từ do dao động của vật chất trong quang cầu gây ra.

Nếu chụp ảnh Mặt Trời từ máy ghi ảnh trong bức xạ đơn sắc cho thấy hình dạng phía trên của sắc cầu hiện lên trên tia sáng và chi tiết hơn còn sẽ thấy trong sắc cầu tồn tại những thớ sáng hình răng cưa trải ra tận miền tiếp giáp giữa sắc cầu và nhật hoa (hình VI.13).

Hình VI.13. *Gai lửa ở sắc cầu và mô hình giải thích tạo thành gai lửa*

Hình VI.14. *Ảnh chụp nhật hoa khi mặt trời tĩnh*

c) Nhật hoa (Corona)

Nhật hoa là lớp khí quyển cao nhất của Mặt Trời, nó trải dài từ lớp tiếp giáp với sắc cầu đến tận miền không gian chứa các hành tinh như Trái Đất. Tuy nhiên, phía ngoài của nhật hoa không có hình dạng ổn định mà tùy thuộc rất nhiều vào mức độ hoạt động của Mặt Trời. Bình thường ta không nhìn thấy nhật hoa vì độ sáng của nó quá yếu so với quang cầu, sắc cầu. Nếu che được ánh sáng đi từ hai lớp ở dưới nó thì nhật hoa sẽ hiện lên như vành sáng trắng màu ngọc trai. Ảnh chụp Mặt Trời lúc nhật thực toàn phần cho hình ảnh đó (xem hình VI.14). Nếu dùng thiết bị chụp ảnh nhật hoa (coronagraph) ta ghi được phổ nhật hoa trong ánh sáng trắng. Nó chia làm hai phần là nhật hoa dưới (K– Corona) và nhật hoa trên (F– Corona). Trong đó phổ liên tục của nhật hoa dưới chứa các thành phần đơn sắc khá giống với phổ liên tục của quang cầu nhưng độ sáng chỉ bằng 10^{-6} so với độ sáng tương ứng với bức xạ do quang cầu phát ra. Đây là kết quả ánh sáng do quang cầu gửi tới nó bị các electron trong nhật hoa làm tán xạ gây ra. Phổ liên tục của nhật hoa trên (F– corona) là do ánh sáng trắng từ quang cầu gửi tới bị các hạt vật chất trong không gian giữa các hành tinh làm tán xạ gây ra, nó chứa vạch hấp thụ và nó trùng với phổ của ánh sáng hoàng đạo (zodiacal light). Những khi Mặt Trời hoạt động mạnh, thành phần phổ nhật hoa dưới biến đổi rất mạnh, độ sáng của nó tăng nhanh và hình dạng nhật hoa trông như những chùm tia sáng trải rộng tạo thành các dòng suối nhật hoa (Corona streamers). Vào những năm Mặt Trời tĩnh, suối nhật hoa quy tụ vùng xích đạo Mặt Trời, nó trải dài xa tâm hơn so với suối ở vùng cực. Phân tích chi tiết phổ liên tục của nhật hoa dưới, người ta xác định được nồng độ electron tự do trong đó khá lớn, nó chiếm 1/2 nồng độ tổng cộng các hạt tại K–corona. Tuy nhiên, không thấy vạch phổ hấp thụ xuất hiện trên nền phổ tán xạ, mọi sự nhòe của vạch phổ chỉ có thể do hiệu ứng Doppler vì chuyển động nhiệt của các electron tự do. Điều này cho ta đi đến kết luận là nhiệt độ của nhật hoa vào thời kỳ Mặt Trời tĩnh đạt tới vài triệu độ. Kết quả này khá phù hợp với phương pháp xác định phổ nhật hoa qua phổ bức xạ ở miền sóng vô tuyến. Một điểm đặc biệt là trong phổ vạch của nhật hoa xuất hiện một số vạch ứng với sự chuyển giữa các mức siêu bền, các vạch phổ này là bị cấm theo cơ học lượng tử, đồng thời có những vạch ứng với phổ đặc trưng của các nguyên tố nặng bị ion hoá bậc cao phát ra ví dụ

Fe X, Fe XIV hay Ca XV. Điều này cũng chứng tỏ mật độ các hạt trong nhật hoa rất gần đạt đến chân không lý tưởng và nhiệt độ khí ion trong nhật hoa đạt đến một vài triệu độ Kenvin.

Nếu chụp ảnh nhật hoa trong bức xạ Röentgen, ta thấy trên nhật hoa có chứa những "vòng sáng" và những "hố tối" được gọi tương ứng là vòng xoắn nhật hoa và hố nhật hoa. Phép trắc phổ đi từ những miền này cho thấy vật chất trong vòng xoắn nhật hoa chạy dọc theo đường sức từ trường hình vòng cung rồi lại men theo phía bên kia của đường đó để trở lại bề mặt xuất phát, khí ion bị nhốt trong ống đường sức từ trường hình vòng cung đó.

Tại những miền có mặt hố nhật hoa, khí ion ở đó thưa hơn, nguội hơn. Các hố nhật hoa thường xuất hiện ở gần miền cực thì tỏ ra ít biến đổi. Nhưng nếu ở những miền ngay trên miền hoạt động của quang cầu (nơi xuất hiện các vết đen) lại tỏ ra biến đổi nhanh. Những miền phát xạ mạnh tia X ở trong nhật hoa chỉ tồn tại trong vòng vài giờ, sau đó nó hòa tan vào trong hố nhật hoa.

Các nhà vật lý Mặt Trời cho rằng những chỗ xuất hiện hố nhật hoa đánh dấu những miền tại đó từ trường từ Mặt Trời vươn ra xa tâm Mặt Trời hơn là chảy ngược trở lại. Do đó khí nhật hoa có xu hướng thoát khỏi Mặt Trời chứ không chạy ngược xuống, từ đó hình thành nên gió Mặt Trời, tức là các dòng hạt điện tích đi ra khỏi nhật hoa với tốc độ v = 300 km/s đến 700 km/s tại miền cách nơi phóng ra khoảng 2 lần bán kính Mặt Trời. Gió Mặt Trời đi vào không gian giữa các hành tinh gặp từ trường của hành tinh gây ra hiện tượng bão từ, còn khi gặp tầng ion trong khí quyển hành tinh, chúng sẽ tương tác với tầng ion. Đây là vấn đề mà địa vật lý phải quan tâm.

2. Sự hoạt động của Mặt Trời

a) Khái niệm về sự hoạt động của Mặt Trời

Mặt Trời là khối khí nóng bỏng, tại tâm đang liên tục xảy ra các phản ứng nhiệt hạch với tốc độ ổn định nhờ "van" tự động (xem VI.I.3). Kết quả nó giữ cho các quá trình vật lý diễn ra trong lòng Mặt Trời và trong khí quyển với tốc độ ổn định sao cho nhìn lên Mặt Trời có những đặc điểm, những thông số dao động nhỏ quanh giá trị tương ứng được nêu ở mục 1. Mặt Trời ở trạng thái này là Mặt Trời tĩnh (the quiet sun). Ngược lại, nếu chúng dao động với biên độ lớn hoặc xê dịch quá mức nêu trên, khi ấy ta nói Mặt Trời hoạt động. Vấn đề có ý nghĩa thực tiễn hơn đó là dùng những dấu hiệu, chỉ số nào có thể đo

đếm được để nói lên mức độ hoạt động của Mặt Trời. Sự hoạt động của Mặt Trời có ảnh hưởng tới môi trường sống ở Trái Đất không? Nếu có, ta có phương pháp nào dự báo?

b) Những dấu vết quan trắc được nói lên mức độ hoạt động của Mặt Trời

Nếu căn cứ vào mức độ hoạt động dễ quan trắc, vào số lượng dữ liệu đã có, ta có thể liệt kê các dấu vết theo thứ tự trong bảng sau:

Tên gọi		Nơi định xứ	Đặc điểm chính		
Tiếng Việt	Tiếng Anh		T(K)	ρ/ρ_{qc}	Phổ bức xạ B(T)
Vết đen Mặt Trời	Sunspot	Quang cầu	4500	<1	Liên tục...
Vết sáng	Faculae		>6000	>1	Liên tục...
Miền từ lưỡng cực	Bipolar magnetic regions				Miền chứa từ trường yếu
Trường sáng	Plages	Sắc cầu	>6000	>1	H_α, CaII
Tai lửa tĩnh	Prominence	Sắc cầu trên và nhật hoa			H_α, CaII
Tai lửa nổ	The eruptive prominence				Phóng ra vật chất với v~640km/s
Bùng sáng sắc cầu	Flares				Tăng độ sáng đột ngột với bức xạ vạch H_α, CaII
Miền ngưng tụ	Condensation	Nhật hoa	~10^6 K	<<1	Liên tục xuất hiện đường phổ cấm
Bùng sáng nhật hoa	Coronal flares				Bùng sáng vùng sóng vô tuyến
Hố nhật hoa	Coronal holes				Phóng ra tia vũ trụ và gió Mặt Trời
Suối nhật hoa	Coronal streams				Nt

Qua bảng số liệu trên ta có thể nhận thấy: vết đen, vệt sáng, bùng sáng sắc cầu là những hiện tượng quan sát được qua ánh sáng nhìn thấy và được quan sát từ lâu. Dữ liệu lưu trữ khá nhiều, hiện nay vẫn đang được tiếp tục quan trắc. Các đối tượng còn lại phải có thiết bị dựa trên công nghệ cao mới ghi nhận được.

Tuy không được đề cập ở trong bảng số liệu trên, nhưng qua dữ liệu quan trắc gần đây, các nhà vật lý Mặt Trời thấy rằng:

+ Những dấu vết liệt kê ở trên đều quy tụ trong những đới cầu nằm

cách đều xích đạo Mặt Trời (giao của mặt phẳng vuông góc với trục tự quay của Mặt Trời và quang cầu của nó) không quá 40° và chỉ quy tụ trong miền kinh tuyến nhất định gọi là miền hoạt động trên Mặt Trời.

+ Sự có mặt của các dấu vết nói trên gắn liền chặt chẽ với sự biến đổi cấu hình từ trường trên Mặt Trời.

Hình VI.15. *Sự huỷ diệt của từ trường trái dấu có thể là nguyên nhân gây ra bùng nổ sắc cầu*

Từ trường trên Mặt Trời có nguồn gốc từ sự chuyển động của plasma. Vì vậy từ thuỷ động lực học plasma sẽ giúp ta lý giải nguồn gốc và sự tiến hoá của các vết đặc trưng nói trên.

+ Sự xuất hiện của vết này thường kéo theo vết kia, do đó có thể chọn vết đen, vết dễ quan trắc nhất, có nhiều dữ liệu lưu trữ nhất để phục vụ cho mục đích dự báo hoạt động của Mặt Trời.

+ Sự xuất hiện các vết tỏ ra có chu kỳ và khá khớp với một số chu kỳ xuất hiện các hiện tượng ở mặt đất và không gian gần Trái Đất.

c) Vết đen, số Wolf và chu kỳ hoạt động của Mặt Trời

Vết đen là những miền trên quang cầu, có nhiệt độ thấp hơn miền bao quanh (ở cùng một khoảng cách đến tâm Mặt Trời) khoảng

vài nghìn độ, có kích thước 10^4km. Vết đen càng rộng có thời gian tồn tại trên quang cầu càng dài, dài nhất khoảng vài tháng. Đặc điểm này lần đầu tiên đã được Galileo sử dụng để phát hiện sự tự quay của quang cầu Mặt Trời. Theo Galileo Mặt Trời tự quay quanh trục với chu kỳ trung bình 28 ngày. Những quan sát chính xác hơn cho thấy Mặt Trời tự quay quanh trục với chu kỳ thay đổi theo vĩ độ B của điểm đó trong hệ tọa độ vật lý Mặt Trời. Sự thay đổi đó thoả mãn biểu thức:

$$\omega_B = 14^\circ,37 - 2^\circ 60 \sin^2 B \qquad \text{(VI.10)}$$

Trong đó ω_B là góc quay được trong một ngày của những điểm có vĩ độ B.

Nếu quan sát kỹ một vết ta sẽ thấy: thoạt đầu nó xuất hiện như một chấm mờ sau đó lan rộng ra và ngày càng mờ dần so với miền kề cạnh. Qua chụp phổ và phân tích phổ bức xạ đi từ vết đen thấy rằng: vết đen bức xạ như một vật đen có nhiệt độ 4000K. Các vạch phổ vạch hấp thụ trên nền phổ liên tục đều bị tách ra một số vạch kề cạnh, độ rộng vạch phổ cũng nới rộng ra chứng tỏ nó chịu hiệu ứng Zeemann và hiệu ứng Doppler. Qua đo đạc độ tách hiệu ứng Zeemann thấy rằng từ trường vết đen có giá trị 0,1– 0,2 T, hướng gần thẳng góc với bề mặt vết đen và định xứ trong vùng quanh tâm vết, có đường kính hàng nghìn kilômét. Trong quá trình phát triển của vết đen, từ trường tăng dần đến cực đại. Vết đen thường xuất hiện thành từng nhóm, bao gồm nhiều nhóm đôi nhỏ. Trong nhóm đôi, cực từ của hai vết kề cạnh nhau bao giờ cũng ngược nhau. Lý thuyết từ thuỷ động MHD (Magnet hydrôdynamic theory) do Cawling và Alfven đề xướng giúp ta giải thích một cách định tính sự xuất hiện vết đen. Theo Alfven do có nhiễu động nào đấy làm xuất hiện miền plasma có mật độ electron và nhiệt độ khác nhau, từ đó hình thành các dòng điện có cường độ lớn và kéo theo sinh ra từ trường lớn ở vùng lân cận. Nếu có cơ chế nào đó để chuyển động năng của khối plasma $\rho v^2/2$ thành năng lượng từ có mật độ $B^2/(8\pi\mu^2)$ thì cảm ứng từ B ở địa phương đó sẽ tăng dần. Vì plasma có độ dẫn điện lớn nên dường như từ trường bị "đóng keo" vào vật chất đó. Nếu khối plasma đứng yên thì mọi biến thiên của từ trường đều bị từ trường của dòng cảm ứng ngăn lại và từ trường chỉ có thể biến đổi khi các đường sức cảm ứng từ cùng dịch chuyển với dòng vật chất đó. Chính dòng đối lưu trong lòng Mặt Trời đã "nắn thẳng" các đường sức từ, kéo dài nó, dồn nó lại, làm cho từ

trường mạnh hơn. Theo cơ chế khuếch đại từ trường trong plasma do Fermi đề xướng thì quá trình khuếch đại sẽ dừng lại khi thoả mãn:

$$B^2/8\pi\mu^2 = \rho v^2/2 \qquad \text{(VI.11)}$$

Tại vùng đối lưu $\rho = 3.10^{-1}kgm^{-3}$, $v = 0,5kms^{-1}$, do đó B đạt đến giá trị gấp hàng trăm lần từ trường Trái Đất chúng ta.

Gần đây có người đã cho rằng có thể xem mỗi vết đen như một cuộn dây sôlenôit, "dây" cuốn quanh ống có tiết diện cỡ tiết diện vết đen. Do đó đường kính của ống dây cỡ 10^3km. Coi rằng "ống dây" dài vô hạn, khi đó trong lòng "ống dây" cảm ứng từ $B = 4\pi.10^{-7}nI$ với n là số vòng dây trên một đơn vị chiều dài. Nếu lưu ý tiết ống dây cỡ 10^7km^2, có độ dẫn của plasma Mặt Trời nên ta có thể coi đó là cuộn nam châm điện siêu dẫn, do đó nó có thể duy trì mãi từ trường của vết đen cho đến khi có lực khác làm vết đen biến mất, nghĩa là vết đen có thời gian tồn tại khá dài trên quang cầu. Chính từ trường mạnh ở trong plasma thuộc vùng đối lưu đã ngăn cản sự đối lưu theo phương thẳng đứng làm chậm khả năng di chuyển plasma từ dưới lên trên so với vùng lân cận đã làm cho nhiệt độ vật chất trong vết đen thấp hơn nhiệt độ quang cầu.

Một điểm khá lý thú là tại những vùng vết đen tụ lại thành nhóm lớn, khi các vết đen kề cạnh nhau đến mức nào đó, những chỗ B ngược dấu nhau sẽ xảy ra vụ nổ đột ngột làm tăng cường độ bức xạ đến hàng triệu lần trong vài chục phút rồi từ từ giảm xuống ở khắp mọi bước sóng của thang sóng điện từ kèm theo phóng ra các tia vũ trụ năng lượng thấp như electron, proton, với tốc độ cỡ (500 ÷ 1000) kms^{-1}. Dòng hạt này thực sự là mối nguy hiểm cho các nhà du hành vũ trụ khi đi ra ngoài khoang tàu bảo vệ và có ảnh hưởng lớn đến tầng ion của khí quyển Trái Đất. Vụ nổ ta vừa đề cập có tên gọi là bùng nổ sắc cầu. Công suất bức xạ của một bùng nổ sắc cầu lớn gấp nhiều lần các vụ nổ hạt nhân mà ta đã biết ở Trái Đất. Nếu cơ chế tương tự nhưng xảy ra ở miền nhật hoa ở phía trên nơi có nhóm vết đen có tính chất đã nêu thì ta gọi là bùng nổ nhật hoa. Bùng nổ nhật hoa diễn ra ở vùng bức xạ cực ngắn, vùng tia X của sóng điện từ. Phép đo nhiệt độ cho thấy $T \sim 2.10^7K$ tức là gấp 10 lần nhiệt độ vật chất quanh đó. Đây thực sự là vụ nổ cực lớn ở nhật hoa mà cho đến nay vẫn chưa có lý thuyết đoán nhận nó, nhưng có thể cho rằng bùng nổ sắc cầu và bùng nổ nhật hoa có liên quan đến sự "hủy diệt" từ trường dẫn đến sự phóng nhanh năng lượng từ trường đó vào trong miền rất hẹp (xem hình VI.15).

Khi trên quang cầu xuất hiện vết đen, nếu ta quan sát Mặt Trời qua ánh sáng đơn sắc H_α (6563Å), các vạch H, K của ion canxi hoặc ghi ảnh Mặt Trời nhờ máy ghi ảnh phổ (spectroheliograms), ta sẽ thấy rằng lúc đó trên khí quyển Mặt Trời cũng xuất hiện các vết khác như tai lửa (prominences), gai lửa (spicules) vv... Vì thế các vết đen có thể được coi là vết đại diện để khảo sát sự hoạt động của Mặt Trời.

Đến đây ta có thể nói thời kỳ trên Mặt Trời có nhiều vết đen được gọi là thời kỳ hoạt động của Mặt Trời. Sự hoạt động này không phải thay đổi một cách ngẫu nhiên mà theo quy luật tuần hoàn với chu kỳ xác định. Qua nhiều số liệu đã ghi chép từ thời Galileo và liên tục tiếp sau đó, lần đầu tiên Heinrich Schwabe đã nhận xét rằng: "Số vết đen quan sát ghi chép lại được tỏ ra biến thiên với chu kỳ 10 năm". Rudolf Wolf người Thuỵ Sỹ đã tiếp tục quan sát thu thập và xử lý số liệu vết đen do những người khác trước đó và do chính bản thân ông cùng các cộng sự ghi lại được. Ông thấy rằng nếu gọi

$$W = k(f + 10g) \qquad \text{(VI.12)}$$

với k là hệ số tương quan đo thực nghiệm quyết định, f là tổng số vết đen đếm được trên quang cầu (kể cả đứng riêng và quy tụ lại thành nhóm nhỏ), g là số nhóm vết đen thì W tỏ ra biến thiên với chu kỳ 11 năm. Số W được gọi là số Wolf. Wolf đề nghị:

Khi $W \to W_{max}$ là thời kỳ hoạt động mạnh của Mặt Trời còn khi $W \to W_{min}$ là thời kỳ Mặt Trời tĩnh.

Nếu để ý chu kỳ lặp lại của cực đại trong các cực đại "địa phương" thì số W tỏ ra biến thiên với chu kỳ dài là 90 năm, nghĩa là gần một thế kỷ. Nếu để ý đến cực của vết thì chu kỳ phải là 22 năm như G. H. Hale đã nêu ra vào năm 1908. Từ giữa cuối thế kỷ XVIII số liệu quan trắc vết đen được ghi lại đầy đủ và xử lý theo quy định thống nhất, vị trí vết đen được cho trong hệ tọa độ vật lý Mặt Trời mang tên hệ tọa độ Kêringtơn. Do đó chu kỳ bắt đầu từ năm 1755 được coi là chu kỳ thứ nhất. Năm 2006 ÷ 2007 là cuối của chu kỳ thứ 23 và đầu năm 2008 được coi là đầu của chu kỳ 24, năm hoặc sáu năm sau sự hoạt động của Mặt Trời sẽ đạt cực đại. Một điều lý thú khác là quy luật thay đổi của số Wolf W tỏ ra trùng lặp với quy luật biến thiên của một số hiện tượng địa vật lý, từ quyển, sinh quyển ở Trái Đất chúng ta. Ví dụ độ rộng giữa các vành sinh trưởng trên cây cổ thụ, một số nạn dịch bệnh trên Trái Đất, số lượng bão từ... Có tác giả còn cho rằng hoạt động của Mặt Trời có liên quan tới biến thiên giá trị áp suất trung bình hàng năm ở tầng thấp của khí quyển.

Người ta quan niệm ảnh hưởng đó diễn ra theo phác đồ sau:

Hình VI.16

Ta hình dung như sau: Khi Mặt Trời hoạt động mạnh, trên sắc cầu và nhật hoa sẽ xuất hiện bùng nổ làm tăng cường đột ngột bức xạ điện từ ở bước sóng ngắn (tia X, tia tử ngoại), tăng cường bức xạ hạt mang điện và các tia vũ trụ. Những bức xạ điện từ chỉ cần hơn 8 phút sau là chúng có thể xâm nhập vào khí quyển Trái Đất và tương tác với các ion ở tầng điện ly làm tăng cường mật độ điện tích và thay đổi độ cao của tầng điện ly, kết quả làm thay đổi chất lượng liên lạc vô tuyến sóng cực ngắn.

Nếu dòng bức xạ từ Mặt Trời phóng ra, tùy thuộc vào động năng ban đầu mà nó phải mất khoảng thời gian từ vài chục giờ đến vài ngày sau nó mới xâm nhập vào từ quyển Trái Đất. Bản thân các hạt này mang một phần từ trường vết đen có đặc tính phản từ, nó ép đường sức từ trường Trái Đất cộng với từ trường của dòng cảm ứng làm cho từ trường của Trái Đất thăng giáng liên tục gây nên sự dao động của kim la bàn đặt tại đó. Hiện tượng này gọi là bão từ.

Chính thông qua cơ chế tương tự, dòng hạt đi từ bùng nổ Mặt Trời khi đến Trái Đất đã làm rối loạn sự hoạt động của các thiết bị tự động đóng ngắt đường dây tải điện cao thế, hoặc thiết bị tự động điều khiển đóng ngắt mạch điện đặt trên các vệ tinh nhân tạo bay quanh Trái Đất. Ngày 06/03/1989 trên Mặt Trời có bùng nổ sắc cầu lớn nhất

trong số các bùng nổ cùng loại ghi lại được trong suốt 20 năm trước đó, có thể là nguyên nhân gây ra sự cố mất điện trên đường tải điện xuyên Đông Tây ở Quebec (Canada) vào giữa tháng 3 năm đó, khiến hơn 6 triệu dân phải sống trong đêm không ánh điện.

Mặt Trời hoạt động mạnh làm rối loạn tầng khí quyển Trái Đất, làm thay đổi độ cao của tầng đó. Chính điều này đã ảnh hưởng rất lớn đến tuổi thọ của các vệ tinh nhân tạo, đến các con tàu vũ trụ, đến tính mạng của các nhà du hành vũ trụ. Việt Nam đã gia nhập cộng đồng khai thác thành tựu của khoa học vũ trụ đưa lại, do đó chúng ta càng phải lưu ý đến vấn đề này. Nó được đề cập kỹ trong lĩnh vực gọi là khí hậu và thời tiết vũ trụ (Cosmic's Climate and Weather). Ta biết rằng áp lực do áp suất ánh sáng gây ra cho vệ tinh, sức cản môi trường và tương tác giữa từ trường Trái Đất với dòng điện cảm ứng xuất hiện trong các vỏ kim loại của vệ tinh... là những lực nhiễu loạn làm vệ tinh nhân tạo lệch khỏi quỹ đạo đã dự tính cho nó. Những lực này đều có xu hướng làm giảm cơ năng của vệ tinh, kết quả là vệ tinh càng giảm độ cao quỹ đạo và nhanh chóng rơi vào tầng thấp khí quyển rồi bốc cháy. Sự cố tàu Skylab của Mỹ xảy ra vào năm 1997, sự cố trạm vũ trụ mang tên Hòa Bình (The Mir) của Nga vào đầu năm 2001 đều xảy ra xung quanh thời kỳ Mặt Trời hoạt động mạnh.

Dòng bức xạ hạt đi từ Mặt Trời còn có tên là gió Mặt Trời, chủ yếu chứa các proton, electron. Dòng hạt này khi gặp từ trường Trái Đất làm biến dạng từ trường đó và có xu hướng đẩy từ trường Trái Đất ra xa Mặt Trời. Bản thân từ trường Trái Đất phản ứng lại không cho dòng gió Mặt Trời xâm nhập vào từ quyển của mình. Một số hạt có năng lượng đủ lớn có thể xâm nhập vào từ quyển. Nhưng dưới tác dụng của lực Lorent, các hạt này phải chuyển động theo đường xoắn ốc men theo đường sức từ trường Trái Đất.

Vì từ trường Trái Đất có giá trị lớn ở gần hai địa cực và nhỏ dần ở xích đạo nên quỹ đạo xoắn ốc có "bước xoắn" giảm dần về phía cực. Cuối cùng dòng hạt này bị đổi hướng tại hai điểm ở gần hai địa cực từ: một ở gần cực bắc, một ở gần cực nam. Hai điểm này tựa như các điểm trên gương làm phản xạ ánh sáng dọi tới nên gọi là các điểm gương (Mirro points) (xem hình II.23).

Các điểm gương thuộc vành đai Alen trong nằm ở tầng thấp khí quyển, do đó các hạt mang điện sẽ va chạm với phân tử khí làm ion hoá khí và khi tái kết hợp khí ion hoá sẽ phát ra ánh sáng đặc trưng gọi là cực quang (aurorae). Cực quang xảy ra ở những điểm gương gần

phía địa cực bắc gọi là bắc cực quang, nếu xảy ra ở gần địa cực nam gọi là nam cực quang. Những năm Mặt Trời hoạt động mạnh, mật độ hạt và năng lượng dòng hạt trong gió Mặt Trời đều tăng cường dẫn đến hạ thấp độ cao các điểm gương, kết quả dẫn đến cơ hội xảy ra cực quang thuận lợi hơn vì thế thời kỳ này dễ quan sát thấy cực quang.

Sự hoạt động của Mặt Trời có ảnh hưởng đến khí hậu, thời tiết trên Trái Đất không? Đến nay câu trả lời là có thể có, nhưng theo cơ chế nào thì còn chưa thật rõ. Nhưng chắc chắn nếu có thì phải chịu sự chi phối rất lớn của khí quyển Trái Đất nên phải có độ trễ nhất định và phải chiếm vị trí đứng sau các yếu tố do chính môi trường Trái Đất gây ra. Do đó cần thấy hết ý nghĩa của các hoạt động bảo vệ môi trường sống trong phạm vi toàn cầu do Liên Hợp Quốc khởi xướng và chỉ đạo thực hiện.

Từ năm 1980 lại nay nhiều thiết bị đo đạc cao không đã xác định chính xác công suất bức xạ của Mặt Trời gửi đến Trái Đất. Theo số liệu này thì những năm trên Mặt Trời có nhiều vết (năm Mặt Trời hoạt động mạnh) lượng bức xạ gửi đến Trái Đất tăng lên 0,1% so với năm Mặt Trời tĩnh. Trong khi đó hoạt động của con người ở Trái Đất làm tăng lượng khí gây hiệu ứng nhà kính, bằng chứng là khí hậu toàn cầu đang ấm lên, băng ở hai cực đang tan ra, mức nước đại dương đang dâng lên lấn dần nơi sinh sống của các loài vật trên cạn trong đó có con người, làm ảnh hưởng tới nền văn minh của nhân loại.

Nghiên cứu Mặt Trời để thấy rõ hơn vai trò của nó đối với sự thay đổi khí hậu trong quá khứ, hiện tại và tương lai trên Trái Đất chúng ta là rất cần thiết.

BÀI TẬP CHƯƠNG VI

6.1. Hãy mô tả lần lượt các thao tác cần thiết để từ Trái Đất quan sát Mặt Trời qua kính thiên văn theo phương thức:

a) Bằng mắt thường nhìn ảnh thu được qua kính.

b) Chụp ảnh Mặt Trời nhờ ánh sáng trắng.

c) Chụp ảnh Mặt Trời nhờ phin lọc sáng H_α.

6.2. Bằng cách nào đo được khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời? Giá trị đó bằng bao nhiêu?

6.3. Vạch hấp thụ Fraunhofer xuất hiện tại vùng nào của khí quyển Mặt Trời? Vì sao?

6.4. Hãy đánh giá tốc độ lan truyền sóng âm và sóng âm từ (sóng Alfven) trong quang cầu Mặt Trời. Biết rằng tại quang cầu khí có khối lượng riêng trung bình $\rho = 2,5.10^{-4}$ kg/m^3; áp suất $P = 5.10^3$N/m^2. Từ trường $B = 2.10^{-4}$T.

6.5. Từ Mặt Đất cách Mặt Trời 1 đvtv, người ta đo bán kính góc và hằng số Mặt Trời được giá trị tương ứng là r = 16'; a = 1,95 calo/phút.cm^2. Hãy tính:

a) Công suất bức xạ toàn phần của Mặt Trời.

b) Nhiệt độ hiệu dụng của quang cầu.

c) Nếu coi quang cầu bức xạ như vật đen, tính λ_{max}.

d)Tốc độ mất mát khối lượng Mặt Trời do bức xạ điện từ.

6.6. Tại nơi cách Mặt Trời 1 đvtv, gió Mặt Trời (dòng bức xạ hạt proton và electron) có mật độ $n_e = n_p = 10^7$hạt/m^3, thổi đi với tốc độ 400km/s đồng đều theo mọi hướng. Hãy tính phần mật độ thông lượng bức xạ do gió Mặt Trời đảm nhận?

6.7. Vết đen Mặt Trời có đường kính 10^5km. Mật độ công suất bức xạ toàn phần của vết đen chỉ bằng 3/5 giá trị tương ứng của quang cầu. Coi quang cầu bức xạ như vật đen có nhiệt độ 6000K. Hãy cho biết:

a) Nhiệt độ hiệu dụng của vết đen.

b) Nếu có kính bảo vệ mắt, ta có thể nhìn lên Mặt Trời để thấy vết đen không?

6.8. Theo mô hình lý thuyết thì 4 tỷ năm về trước, Mặt Trời có độ trưng chỉ bằng 0,01 giá trị hiện nay $3,86.10^{26}$W. Thời kỳ đó quang cầu của nó có nhiệt độ 1000K. Nếu coi lúc đó Mặt Trời vẫn bức xạ như một vật đen, hãy tính bán kính lúc đó của Mặt Trời.

6.9. Trên bức ảnh chụp Mặt Trời qua tia Röentgen, không hề thấy có vết đen. Tại sao?

Chương VII

SAO VÀ NHỮNG ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN

Ngoài Mặt Trời ra, các sao đều rất xa chúng ta, cái gần nhất là Cận tinh trong chòm Bán Nhân Mã (Centaurius) cũng cách chúng ta 4,3 năm ánh sáng. Hơn 90% vật chất thông thường (không phải là vật chất tối – dark matter) đều quy tụ thành các sao. Bình quân, mỗi thiên hà như thiên hà chúng ta có đến hàng tỷ sao, những thiên hà lớn có thể có đến hàng trăm tỷ hoặc hàng nghìn tỷ sao! Tuy ở rất xa nhưng chúng là những vật tự phát ra ánh sáng nên chúng ta có thể nghiên cứu chúng thông qua kênh thông tin này để trả lời: chúng cách ta bao xa? Khối lượng của chúng là bao nhiêu? Nhiệt độ, áp suất... và mọi tính chất vật lý khác của vật chất tạo nên các sao như thế nào để có thể duy trì sự tồn tại lâu dài và khá ổn định trong hàng tỷ năm của các sao trong vũ trụ. Các phương pháp thiên văn vật lý đã nêu ở chương V sẽ được áp dụng ở đây đồng thời kết hợp với phương pháp thống kê, phương pháp mô phỏng và kỹ thuật tính để giúp ta trả lời ở mức độ định tính các câu hỏi đã nêu trên. Đồng thời những gì rút ra được ở đây khi áp dụng cho trường hợp của Mặt Trời nếu cho kết quả phù hợp tốt với những điều đã biết ở chương VI thì ta có thể coi lý thuyết đó là khá hợp lý.

I– NHỮNG ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA SAO VÀ PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH

Trên quan điểm bảo toàn và chuyển hoá năng lượng, Vogt và Russell đã độc lập nêu ra định đề nổi tiếng: Khối lượng và thành phần các nguyên tố cấu tạo nên các sao sẽ quy định bán kính, độ trưng, và cấu trúc nội tại cũng như quá trình tiến hoá của chính các sao đó.

Từ định đề này ta sẽ thấy những đại lượng nào được coi là đại lượng đặc trưng cho các sao. Ta sẽ lần lượt tìm hiểu thực chất các đại lượng đó là gì và trên quan điểm vật lý sẽ lý giải tại sao nó có vai trò như nó đã có trong sơ đồ được rút ra từ định đề Vogt – Russell:

1. Độ sáng của sao; cấp sao nhìn thấy

Với vật sáng có kích thước, khi tiến hành đo độ sáng của chúng, ta có thể đo các đại lượng như độ chói có đơn vị là nít, đo cường độ phát sáng mà đơn vị đo là Canđêla (Cd), đo thông lượng bức xạ với đơn vị đo là Lumen, hoặc đo độ dọi sáng lên bề mặt nào đó có đơn vị đo là Lux. Nhưng do các sao ở quá xa nên chúng chỉ là nguồn điểm. Vì lẽ đó chúng ta dùng thang đo đặc biệt để đánh giá độ sáng của sao.

Độ dọi sáng của các sao được đánh giá thông qua lượng năng lượng bức xạ trong vùng quang học do sao gửi đến Trái Đất chúng ta. Rõ ràng độ dọi phụ thuộc vào công suất bức xạ của sao và khoảng cách từ ngôi sao đó đến Trái Đất. Do đó bản thân độ dọi sáng chưa cho biết được "năng lực phát sáng" của chính sao đó mà chỉ thông qua hệ quả do bức xạ gửi đến gây ra đối với mắt người hoặc máy thu bức xạ quang học ở mặt đất.

Nếu việc đánh giá độ dọi sáng của sao nhờ mắt người quan sát ở Trái Đất người ta dùng đại lượng gọi là cấp sao nhìn thấy hoặc cấp sao biểu kiến m_* của sao đó. Đó là thang đo đại lượng trắc quang cơ bản đầu tiên, nó ra đời từ 150 năm trước Công nguyên theo đề xuất của nhà thiên văn Hi Lạp Hipparchus và được cải tiến mở rộng thang đó cả 2 phía cũng như đo với các vùng phổ khác nhau, bằng các thiết bị ghi nhận khác mắt người... từ đó ra đời các loại cấp sao khác tương ứng dựa trên định luật Vêbe – Phixnher với nội dung: Khi kích thích lên mắt tăng theo cấp số nhân thì cảm giác mắt nhận được sẽ tăng theo cấp số cộng.

Theo quy ước ban đầu thì:

– Sao càng sáng, cấp sao của nó càng nhỏ.

– Sao kém sáng nhất (độ dọi nhỏ nhất) mà mắt người còn nhận ra được là sao có $m_* = +6$.

– Hai sao có cấp sao nhìn thấy sai khác nhau 5 cấp thì độ dọi sáng của nó đến mắt ta khác nhau đến 100 lần.

– Sao sáng nhất trên bầu trời có $m_* = 0$ (trừ Mặt Trời ra).

Đến năm 1856 N. N. Pogxon đề nghị mô tả quan hệ giữa độ dọi sáng và cấp sao nhìn thấy của hai ngôi sao A và B thoả mãn các quy ước trên như sau:

$$m_A - m_B = 2{,}500 \lg \frac{E_B}{E_A} \Rightarrow \frac{E_B}{E_A} = 2{,}512^{(m_A - m_B)} \qquad \text{(VII.1)}$$

Với quy ước này, Mặt Trời có $m_{\odot} = -26,7$, Mặt Trăng có, $m_{trăng} = -12,6$, Kim tinh có cấp sao nhìn thấy $m_{kim} = -4,4$, sao Chức nữ (Vega) có m = 0,00 còn sao Thiên Lang (Sirius) sáng nhất bầu trời nam có cấp sao nhìn thấy m = –1,4; quaza sáng nhất có m = + 12,8, còn quaza kém sáng nhất có m = 30.

2. Cấp sao tuyệt đối

Để so sánh độ sáng thực của các sao với nhau khi chưa biết chính xác khoảng cách từ Trái Đất đến chúng, người ta giả sử các sao nếu được đặt cách đều ta thì sẽ gây ra độ dọi sáng phụ thuộc vào công suất bức xạ của chúng. Trên ý tưởng này đã cho ra đời khái niệm về cấp sao tuyệt đối M_* của sao. Người ta quy ước rằng: Cấp sao tuyệt đối M_* của một sao là độ dọi sáng do sao đó gây ra cho mắt ta nếu sao đó cách ta một khoảng là 10 parsecs viết tắt là (10ps). Sao có cấp sao tuyệt đối càng lớn, càng kém sáng.

Trước khi đi tìm quan hệ giữa cấp sao nhìn thấy m_* và cấp sao tuyệt đối M_* của nó ta hãy định nghĩa độ dài của 1ps: 1ps là khoảng cách từ ta đến một thiên thể S nào đấy, sao cho thiên thể ấy sẽ "nhìn" bán kính quỹ đạo Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời dưới 1 góc là một giây đo góc (thuật ngữ parsec bắt nguồn từ per second). Nếu chú ý Trái Đất cách Mặt Trời 150 triệu kilômét, ta sẽ tính được 1ps bằng quãng đường mà ánh sáng đi trong 3.262 năm. Trong thiên văn nói là 1 ps bằng 3.262 năm ánh sáng (viết gọn 1ps = 3,262nas) và rõ ràng nó bằng 206265 lần bán kính quỹ đạo Trái Đất. Trong thiên văn nói rằng 1ps = 206265 đ.v.t.v.

Để xét mối quan hệ giữa m_* và M_* của cùng một sao, ta chú ý rằng do sao đó ở khoảng cách thực d và khoảng cách quy ước 10 ps nên sẽ gây ra độ dọi sáng nhìn thấy đối với người quan sát ở Trái Đất tương ứng là E_m và E_M. Theo (VII.1) ta có:

$$m_* - M_* = 2,500 \lg \frac{E_M}{E_m} \qquad \text{(VII.2)}$$

Mặt khác vì độ dọi sáng cùng một đối tượng gây ra tại một nơi nào đấy sẽ tỷ lệ nghịch với diện tích bề mặt bao quanh nguồn cách đều nguồn và đi qua vị trí nơi xem xét, do đó ta có:

$$\frac{E_M}{E_m} = \left(\frac{d}{10}\right)^2 \qquad \text{(VII.3)}$$

Với d (ps). Kết hợp (VII.2) và (VII.3) ta được:

$$m_* - M_* = 2,500 \lg\left(\frac{d}{10}\right)^2 \text{ hay: } M_* = m_* + 5 - 5\lg d(ps) \qquad \text{(VII.4)}$$

Ở đây, $m_* - M_*$ được gọi là môđun khoảng cách đến sao. Thông thường khoảng cách ngôi sao đến ta được tính qua thị sai nhật tâm π tức là tính qua góc mà ngôi sao đó nhìn bán kính quỹ đạo Trái Đất. Vì sao ở xa nên góc π rất bé do đó nó được đo qua đơn vị giây đo góc (second of angle): khi đó theo định nghĩa của parsec ta suy ra nếu d đo theo đơn vị ps thì quan hệ giữa d và π sẽ là: $d(ps) = 1/\pi''$, thay vào (VII.4) ta được:

$$M_* = m_* + 5 + 5\lg \pi'' \qquad \text{(VII.5)}$$

Áp dụng (VII.4) cho trường hợp Mặt Trời $m_\odot = -26,7$, d = 1đvtv = 1/206265 ps, ta được cấp sao tuyệt đối của Mặt Trời:

$$M_\odot = -26,8 + 5 - 5\lg(1/206265) = 4,8$$

Nhìn vào (VII.4) ta thấy nếu từ Trái Đất ta đo được m_* muốn biết M_* để từ đó biết được thực sự sao nào phát sáng mạnh hơn ta phải biết khoảng cách đến các sao. Ở phần sau khi xét về sao biến quang ta sẽ thấy có một số sao biến quang có thể thông qua đo chu kỳ biến đổi độ sáng nhìn thấy ta biết được cấp sao tuyệt đối. Nếu vậy thì (VII.4) cho ta một phương tiện để đo khoảng cách d đến các sao đó.

3. Phương pháp đo khoảng cách đến các sao

Như trên đã nói các sao ở rất xa chúng ta nên dĩ nhiên không thể đo trực tiếp được nhờ dùng "thước đo" hoặc đo gián tiếp thông qua gửi tiến hiệu điện từ lên sao đó xong thu tín hiệu phản xạ trở lại và đo thời gian giữa lúc phát và thu tín hiệu phản xạ trở về. Phương pháp này cũng không được vì sao là vật thể nóng sáng, nhiệt độ bề mặt cỡ 10^3K–10^4K nên vật chất ở dạng khí nóng sáng, hầu như không phản xạ bức xạ điện từ gửi tới. Hơn nữa nếu phương pháp này thực hiện được thì một phép đo phải kéo dài nhiều năm. Hiện nay càng chưa thể gửi các tàu vũ trụ lên các sao để đo khoảng cách. Chính những khó khăn này và do chúng ở quá xa nên các nhà thiên văn thời cổ đại đã coi các sao cố định trên mặt cầu có bán kính cực lớn, tâm là Trái Đất để lý giải sơ đẳng những điều quan sát được.

Đo khoảng cách đến sao đều đo gián tiếp thông qua những đại lượng có thể đo trực tiếp được khi đứng ở Trái Đất. Phương pháp tam giác đạc ở Trái Đất gợi cho ta phương pháp đo khoảng cách sao, thông qua đo góc mà ngôi sao đó nhìn đoạn thẳng AB nào đó đủ dài mà ta biết chính xác độ dài của nó. Đoạn AB đáp ứng yêu cầu trên, đồng thời giúp ta có thể đo được góc mà sao nhìn AB, đó chính là bán kính quỹ đạo Trái Đất chuyển động tròn quanh Mặt Trời.

Hình VII.1

Giả sử Mặt Trời ở vị trí O, ngôi sao ở vị trí S, Trái Đất chúng ta lúc đầu ở vị trí E_1, khi đó từ Trái Đất ngôi sao S nằm theo hướng sao A trên nền trời; khoảng 6 tháng sau, do Trái Đất quay quanh Mặt Trời đến vị trí E_2, từ E_2 ta thấy S hiện lên hướng sao B trên nền trời. Khi đó:

$\widehat{ASB} = \widehat{E_1SE_2} = 2\pi$, trong đó góc π được gọi là thị sai nhật tâm hay thị sai hằng năm của sao S. Rõ ràng do sao S quá xa ta nên góc π rất nhỏ chỉ cỡ $\leq 0,75''$, khi đó:

$$OS \approx E_1S = d_* \qquad \text{(VII.6)}$$

Nên:

$$d_*(ps) = 1/\pi'' \qquad \text{(VII.7)}$$

Từ (VII.7) ta suy ra nếu đo được π thì ta sẽ xác định được d_*. Vì góc thị sai π của các sao $\leq 0,75''$ nên rất khó đo π, chính vì lẽ đó tuy ý tưởng đo π để qua đó đo d_* đã có từ lâu, nhưng mãi đến khi kỹ thuật chụp ảnh thiên thể phát triển, các phép đo khoảng cách trên các bức ảnh chụp bầu trời ở những thời điểm khác nhau đạt độ chính xác cao, các nhà thiên văn mới đo được góc thị sai của ngôi sao gần Mặt Trời nhất. Cho đến thời điểm hiện nay đứng ở Trái Đất mới chỉ đo được những góc $\pi \geq 0,02''$, tức là ta đo được sao ở xa ta không quá 50ps. Tuy nhiên nhờ vệ tinh nhân tạo chuyển động quanh Trái Đất

mang tên Hipparcos đã đo thị sai các sao trong 4 năm liền bằng thiết bị đo góc hiện đại đạt đến giá trị $\pi \geq 0,002''$, tức là ta đã đo được khoảng cách đến các sao có $d_* \leq 500ps$, trong khoảng đó đã đo được khoảng cách của 10^5 ngôi sao gần chúng ta.

Những sao ở vị trí có $d_* > 500ps$ ta đo bằng cách nào? Khi đó ta phải nhờ phép đo thị sai nhật tâm π^* thông qua cái gọi là thị sai phổ. Ngoài hai phương pháp trên, người ta còn có thể đo khoảng cách của những sao cùng với Mặt Trời tạo thành một nhóm cùng hướng đến một điểm nhất định C trong vũ trụ do chúng cùng Mặt Trời tham gia quay quanh tâm thiên hà để hướng về cùng hướng. Khi đó chỉ cần đo v_t là vận tốc sao chuyển động vuông góc với phương tia nhìn đo vận tốc chuyển động riêng v_q nhờ chụp ảnh bầu trời, ta sẽ thu được khoảng cách đến sao đó như sau:

Hình VII.2

$$d = \frac{v_t}{4,74 v_q} \quad \text{(VII.8)}$$

với v_t (km/s), v_q ("/năm), d(ps) (xem hình VII.2)

4. Độ trưng của sao

Độ trưng L_* của sao là đại lượng cho ta biết công suất phát xạ năng lượng điện từ của nó ở mọi bước sóng. Qua phép đo thực hiện ở Mặt Đất, có hiệu chỉnh độ mất mát do khí quyển Trái Đất hấp thụ, hoặc đo nhờ thiết bị đặt trên các trạm vũ trụ, chúng ta biết được độ dọi sáng của sao đó, ví dụ là E_0, biết khoảng cách d_* đến sao đó thì rõ ràng:

$$L_* = E_0 . 4\pi d_*^2 \quad \text{(VII.9)}$$

Ở chương VI, ta đã biết rằng Mặt Trời có $L_\odot = 3,9.10^{26}$ W, các nhà thiên văn muốn chọn $L_\odot$ của Mặt Trời làm đơn vị để đo độ trưng của các sao trong vũ trụ.

Ta chú ý rằng Mặt Trời có công suất bức xạ $L_\odot$, nó cách Trái Đất 1 đ.v.t.v = 1/206265 ps nên nó có cấp sao nhìn thấy $m_\odot$ và cấp sao tuyệt

đối $M_\odot$. Ngôi sao ta xét ở cách ta d (ps) có công suất bức xạ là L_* nên nó sẽ có cấp sao nhìn thấy m_* và cấp sao tuyệt đối M_*. Ta dễ thấy rằng: nếu gọi E_0 và E_* là độ dọi do Mặt Trời và sao gây ra nếu nó đều ở xa ta 10 ps thì:

$$\begin{cases} \dfrac{E_\odot}{E_*} = 2{,}512^{(M_*-M_\odot)} \\ \dfrac{E_\odot}{E_*} = \dfrac{L_\odot}{L_*} \end{cases} \qquad \text{(VII.10)}$$

Do đó: $$L_* = L_\odot.2{,}512^{(M_\odot-M_*)} \qquad \text{(VII.11)}$$

Chọn $L_\odot$ làm đơn vị đo thì

$$L_* = 2{,}512^{(M_\odot-M_*)} \qquad \text{(VII.12)}$$

Ví dụ sao Thiên Lang có $M_* = 1{,}3$, Mặt Trời có $M_\odot = 4{,}8$; thay những giá trị này vào (VII.12) ta được: $L_* = 2{,}512^{(4{,}8-1{,}3)} \approx 25$, chứng tỏ sao Thiên Lang có công suất bức xạ gấp 25 lần công suất bức xạ của Mặt Trời.

Các kết quả quan trắc độ trưng của Hypparcos Mission cho biết công suất bức xạ của các sao có giá trị rất khác nhau, chọn $L_\odot = 3{,}9.10^{26}$ W làm đơn vị đo, ta có bảng sau:

Tên sao	Cấp sao nhìn thấy m	Khoảng cách đến Trái Đất (ps)	Cấp sao tuyệt đối M	Độ trưng L
Mặt Trời	–26,74	$4{,}65.10^{-6}$	4,83	1
Thiên Lang	–1,44	2,64	1,45	22,5
Arcturus	–0,05	11,25	–0,31	114,0
Chức nữ	+0,03	7,76	+0,58	50,1
Spica	+0,98	80,39	–3,55	12250,0
Sao Barnard	+9,54	1,82	13,24	1/2310
Cận tinh (Proxima centauri)	+11,01	1,29	15,45	1/1770

Rõ ràng sao có công suất bức xạ càng lớn, cấp sao tuyệt đối của nó càng bé và ngược lại. Đồng thời qua số liệu ở bảng trên ta có thể rút ra trình tự đo thông thường các đại lượng đặc trưng của sao diễn ra theo thứ tự sau:

Đo độ dọi sáng do sao gây ra tại nơi đặt máy đo ta được cấp sao

nhìn thấy m_*. Nếu đo tiếp được khoảng cách d_* (có thể qua đo thị sai nhật tâm π hoặc thị sai phổ) ta xác định được cấp sao tuyệt đối M_* nhờ (VII.5); khi biết được M_* nhờ (VII.12) ta tính được công suất bức xạ của sao trong hệ đo chọn Mặt Trời là sao chuẩn.

5. Kích thước của sao và mật độ công suất bức xạ toàn phần

Một ngôi sao ổn định sẽ ở trạng thái cân bằng khí động lực học dưới tác dụng của lực hấp dẫn của khối vật chất cấu tạo nên sao và áp lực bức xạ. Khi đó sao sẽ có dạng hình cầu để ứng với năng lượng đạt giá trị cực trị. Hình cầu đó có bán kính bao nhiêu? Ta dễ thấy rằng giả sử nó có đường kính $D = 2r_*$, vì nó cách ta một khoảng d_* nên ta sẽ nhìn nó dưới 1 góc:

$$\alpha \approx \frac{2r_*}{d_*} \qquad \text{(VII.13)}$$

Vì d_* rất lớn (trừ Mặt Trời), do đó $\alpha \approx 0$. Có nghĩa rằng ở Trái Đất ta rất khó đo chính xác góc α của các sao, dẫn đến khó đo bán kính thực r_* của nó dù ta đo được khoảng cách d_*.

Đã có thời kỳ người ta chế ra dụng cụ đo góc chính xác dựa trên nguyên lý giao thoa có tên là giao thoa kế để đo bán kính góc các sao ở gần chúng ta. Khi đó nếu nhìn sao qua kính nhờ bức xạ có bước sóng λ thì:

$$\alpha(\text{rad}) = 0.85\lambda / D_{vk} \qquad \text{(VII.14)}$$

Nếu $\lambda = 5500\text{Å}, 1\text{rad} = 206265''$, và D_{vk} (cm) thì:

$$\alpha('') = 15,4 / D_{vk} \qquad \text{(VII.15)}$$

Nhưng do nhiễu loạn của khí quyển, giao thoa kế sao đặt ở mặt đất không cho phép đo được α, chỉ khi đưa ra ngoài khí quyển phương pháp này mới dùng được cho các sao ở gần Trái Đất. Biết đường kính góc của sao, biết khoảng cách d_* ta tính được bán kính dài của sao đó là R_*:

$$R_* = \frac{1}{2} d_* \alpha(\text{rad}) \qquad \text{(VII.16)}$$

Từ đó ta biết được mật độ công suất bức xạ toàn phần của sao:

$$\varepsilon = \frac{L_*}{4\pi R_*^2} \qquad \text{(VII.17)}$$

Tuy nhiên vì các sao đều ở rất xa, nên rất ít sao có thể đo "trực tiếp" được α. Thông thường người ta thông qua đo M_*, L_* như đã nêu ở phần

trên rồi biểu diễn chúng qua các đại lượng tương ứng của Mặt Trời. Từ đó ta có thể xác định bán kính các sao qua bán kính Mặt Trời nếu ta đo được nhiệt độ hiệu dụng của chúng. Ta sẽ đề cập ở phần sau.

Thời gian gần đây, phép đo trắc quang đã đạt được độ chính xác cao cho phép các nhà thiên văn đo gián tiếp bán kính của sao thuộc hệ sao đôi che khuất lẫn nhau (Eclipsing binaries). Ý tưởng chính của việc đo này như sau: giả sử có ngôi sao A kích thước bé, nóng sáng hơn ngôi sao to hơn nó là B. Cả A và B nằm trên mặt phẳng song song với hướng tia nhìn tới chúng sao cho khi A lướt qua B ta nhìn thấy từ phần rìa hướng vào (xem hình vẽ VII.3). Đứng ở Trái Đất nhìn thấy sao A quay quanh sao B trong mặt phẳng nói trên. Trong thời gian sao A đi qua trước mặt sao B độ sang tổng cộng của sao B sẽ giảm xuống tùy thuộc vào độ trưng và tỷ số kích thước của sao A và sao B. Nếu đo được tốc độ A lướt qua B theo phương của đường kính sao B và thời gian lướt qua, ta sẽ biết được đường kính sao B nhờ công thức: $2r = v_{AB}.\Delta t$.

Các nhà thiên văn đo v_{AB} nhờ hiệu ứng Doppler ngang của bức xạ đi từ sao A, còn đo thời gian che khuất Δt nhờ ta đo thời gian thay đổi độ dọi sáng của hệ A + B trên đường biểu diễn sự thay đổi độ dọi sáng đó theo thời gian (xem hình VII.3).

Hình VII.3

6. Nhiệt độ quang cầu của các sao

Nếu coi quang cầu bức xạ như vật đen, vì nhiệt độ quang cầu đủ lớn nên phổ bức xạ là phổ liên tục. Từ Trái Đất nếu với những ngôi sao ta đo được cấp sao tuyệt đối M_*, đo được bán kính nhờ phép đo khoảng cách và bán kính góc của sao, ta sẽ biết được công suất bức xạ L_*, và mật độ công suất bức xạ toàn phần nhờ (VII.17). Áp dụng định luật Stefan – Boltzmann ta tìm được nhiệt độ quang cầu của sao:

$$\varepsilon_* = \sigma T_*^4 \Rightarrow T_* = \sqrt[4]{\frac{L_*}{4\pi\sigma R_*^2}} \qquad \text{(VII.18)}$$

Về mặt lý thuyết nếu ta có thiết bị để phân tích bức xạ thu được theo phổ của nó, (xem hình VI.3a) ta sẽ nhận được phân bố năng lượng bức xạ theo mọi bước sóng chứa trong bức xạ. Từ sự phụ thuộc đó ta sẽ tìm ra λ_{max}, tại đó quang cầu bức xạ với công suất mạnh nhất. Áp dụng định luật dịch chuyển Wien ta sẽ được:

$$T = \frac{b}{\lambda_{max}} \text{ với } b = 0{,}0029\text{mK} \qquad \text{(VII.19)}$$

Nếu quang cầu thực sự bức xạ chính xác theo quy luật của vật đen thì nhiệt độ tính ở (VII.18) và (VII.19) sẽ trùng nhau. Tuy nhiên hai cách tính không cho cùng một kết quả bởi quang cầu chỉ được coi là vật bức xạ gần như một vật đen. Do đó nhiệt độ tính theo (VII.18) mang tên là nhiệt độ hiệu dụng còn tính theo (VII.19) là nhiệt độ chói hay nhiệt độ màu.

Rất tiếc số sao đo được ε theo phương pháp trên không nhiều (không quá 500 sao có số liệu đáng tin cậy!), nên trong thiên văn đã gia công phép đo nhiệt độ quang cầu sao chỉ dựa vào số liệu quan trắc trực tiếp ở Trái Đất, kèm theo hiệu chỉnh sự mất mát trên đường truyền. Đây là phương pháp đo nhiệt độ thông qua chỉ số màu (color index). Để biết chi tiết phương pháp, chúng ta tìm đọc trong các tài liệu về thiên văn vật lý sao (The stellar astrophysics).

Ở đây chỉ đề cập sơ qua về cách đo nhiệt độ theo phương pháp này mà không giải thích chi tiết cơ sở khoa học của phương pháp.

Độ dọi sáng của sao được đánh giá dựa trên lượng bức xạ mà sao đó gửi đến thiết bị ghi và mức độ đáp ứng của thiết bị. Nếu máy ghi có khả năng đáp ứng (tức là có khả năng ghi nhận) với mọi bức xạ gửi tới, sẽ cho ta đánh giá độ dọi ứng với cấp sao m_b (bolometric magnitude).

Mắt người nhạy nhất với $\lambda = 5500 \pm 500$ Å, sẽ đánh giá độ dọi sáng của sao ở vùng sáng này và cho ta cấp sao nhìn thấy m_V. Nhũ tương ảnh nhạy với vùng sóng ứng với $\lambda = 4200 \pm 500$ Å thuộc vùng ánh sáng màu xanh (blue region) sẽ đánh giá độ sáng của sao theo hệ m_B. Tương tự thiết bị thu nhạy với bức xạ vùng $\lambda = 6400 \pm 500$ Å sẽ đánh giá độ dọi sáng của sao ở miền sóng màu đỏ, nên cho ta cấp sao nhìn thấy m_R. Để đơn giản hệ thiết bị đo độ sáng cho phép ta đánh giá lần lượt ở 3 vùng bước sóng nói trên được gọi là hệ thống trắc quang U, B, V. Hệ này đầu tiên do Jôn– xơn (H. L. Johnson) đề xướng và được gọi là hệ trắc quang băng rộng (vì vùng truyền qua $\Delta\lambda = 1000$ Å) với ba bước sóng trung tâm tương ứng 3650Å, 4400Å và 5500Å. Trong hệ này người ta quy ước cấp sao nhìn thấy tương ứng đáng lẽ ghi m_U, m_B, m_V nhưng chỉ ghi đơn giản là U, B, V; còn cấp sao tuyệt đối thì ghi là M_U, M_B, M_V. Trong hệ đo này người ta lấy sao Chức Nữ (Vega) trong chòm sao Thiên Cầm (Lyra), ngôi sao nhìn thấy sáng nhất bầu trời bắc có nhiệt độ T = 10.000K làm sao chuẩn (standard star). Khi đó nhiệt độ quang cầu của một ngôi sao bức xạ như một vật đen sẽ được đánh giá qua biểu thức

$$T = \frac{7090\ \text{K}}{(B - V) + 0{,}71} \qquad \text{(VII.20)}$$

Nhưng thực ra quang cầu bức xạ gần đúng như vật đen nên trong miền $4.10^3\text{K} \le T \le 10^4\text{K}$ nhiệt độ được xác định

$$T = \frac{8540\ \text{K}}{(B - V) + 0{,}865} \qquad \text{(VII.21)}$$

Chú ý rằng nhiệt độ quang cầu được xác định theo (VII.21) xem ra chỉ cần hệ (B, V), nhưng tại sao phải là hệ UBV, điều này có quan hệ tới độ chỉnh sửa sự mất mát năng lượng bức xạ trên đường truyền, do đó phin lọc thứ ba giúp ta chỉnh sửa sự tăng chỉ số màu do mất mát đó.

Nhiệt độ các sao được đánh giá theo (VII.21) hay (VII.20) được gọi là nhiệt độ màu, xác định nó khá thuận lợi vì không cần phải biết khoảng cách đến các sao. Tuy nhiên, nó cho độ chính xác không cao (liên quan đến số phin lọc chọn quá ít và mức độ truyền qua khá rộng). Để đo nhiệt độ bề mặt các sao chính xác hơn các nhà thiên văn đã dựa vào đặc trưng của phổ vạch hấp thụ xuất hiện trên nền phổ vạch liên tục tương ứng với vạch hấp thụ do hydrô, do ion heli bậc một, do ion canxi gây ra... Nhờ đó đã đo

nhiệt độ các sao (theo bảng phân loại sao của đài thiên văn Harvard) với độ bất định từ ±20K → ±50K. Kết quả được cho trong bảng VII.2.

BẢNG VII.2

Màu	Lớp sao	Ví dụ	Khối lượng sao ($M_\odot$)	Đường kính ($R_\odot$)	Nhiệt độ (K)	Đường phổ nổi bật
Xanh đậm	O	Naos	20 ÷ 100	12 ÷ 25	40000	He^+
Hơi xanh	B	Rigel, Spica	4 ÷ 20	4 ÷ 12	18000	He^+, H
Xanh	A	Sirus, Vega	2 ÷ 4	1,5 ÷ 4	10000	H
Trắng	F	Canopus, Prolyon	1,05 ÷ 2	1,1 ÷ 1,5	7000	H, Ca^+
Vàng nhạt	G	Mặt Trời, Capella	0,8 ÷ 1,05	0,81 ÷ 1,1	5500	H, Ca^+
Da cam	K	Arcturus,Aldebaran	0,5 ÷ 0,8	0,6 ÷ 0,85	4000	Kim loại, Ca^+
Đỏ	M	Betelgues, Altares	0,08 ÷ 0,5	0,1 ÷ 0,6	3000	Phân tử và khí trung hoà

7. Khối lượng μ_* của sao

Tất cả những đại lượng đặc trưng cho các sao được trình bày ở (VII.2) vừa nêu ở trên có quan hệ chặt chẽ với nhau, thứ tự trình bày trên không hề phản ánh tầm quan trọng của các đặc trưng cụ thể mà chỉ theo ấn tượng ban đầu đập vào mắt người quan sát ở trên Trái Đất. Vì lẽ đó đặc trưng ở mục này tuy được trình bày sau nhưng nó đóng vai trò quyết định đến các đặc trưng đã nêu và quyết định sự hình thành, tiến hoá và chết đi của bản thân từng ngôi sao cụ thể. Để tránh nhầm lẫn với ký hiệu cấp sao m, M, khối lượng sao được ký hiệu là μ_* và được hiểu là đại lượng vô hướng để đo mức độ hấp dẫn và mức độ quán tính của vật chất chứa trong các sao. Người ta đo khối lượng μ_* của sao dựa vào hiệu ứng hấp dẫn do nó gây ra cho vật thể ở trong trường hấp dẫn đó. Dĩ nhiên phương pháp này sẽ không dùng được cho những sao đứng cô lập (thực tế trong vũ trụ rất ít gặp loại sao này), nhưng lại dễ áp dụng cho hệ sao và hành tinh, hoặc hệ hai sao gần nhau chuyển động trong trường hấp dẫn của chúng – hệ sao đôi. Bài toán hai vật cho ta kết quả: dưới tác dụng của lực hấp dẫn tuân theo định luật hấp dẫn của Newton, hai vật sẽ cùng quay quanh khối tâm, cùng chu kỳ theo quỹ đạo conic đồng dạng. Chúng luôn nằm hai phía của khối tâm, thẳng hàng với khối tâm và cách khối tâm những khoảng tỷ lệ nghịch với khối lượng của chúng. Do đó

nếu đo được chu kỳ T, bán trục lớn a của quỹ đạo, áp dụng định luật 3 Kepler tổng quát ta có:

$$\begin{cases} \dfrac{T^2}{a^3} = \dfrac{4\pi^2}{G(\mu_1 + \mu_2)} \\ \mu_1 a_1 = \mu_2 a_2 \end{cases} \qquad \text{(VII.22)}$$

Áp dụng cho hệ Mặt Trời ta tính được $\mu_\odot \approx 2.10^{30}$ kg.

Khi áp dụng (VII.22) cho hệ sao đôi cùng quay quanh khối tâm chung tức là hệ sao đôi vật lý (trong Thiên Hà chúng ta có đến hàng trăm tỷ ngôi sao kiểu này), ta dễ dàng tính được μ_1, μ_2. Tuy nhiên do chúng ở quá xa, nên từ Trái Đất, chúng ta không đủ khả năng nhận biết chúng cách nhau bao xa, do đó phương pháp này chỉ dùng được cho một số ít trong loại sao đôi vật lý này, số ít đó có tên gọi là hệ sao đôi quang phổ (Spectroscopic binary stars). Trong hệ sao đôi quang phổ, hai thành viên cùng quay quanh khối tâm chung và cách nhau một khoảng khá xa đủ để nhờ phép đo độ dịch chuyển phổ do hấp dẫn, ta có thể phân biệt được chúng qua phổ do chúng phát ra dọc theo phương tia nhìn nhờ công thức: $\Delta\lambda/\lambda = v_r/c$.

Thông thường người ta hay đo khối lượng các sao trong hệ lấy khối lượng Mặt Trời $\mu_\odot$ làm đơn vị. Khi đó chu kỳ T, bán trục lớn a của hệ sao đôi được tính trong hệ đơn vị tương ứng là năm xuân phân, và đơn vị thiên văn. Rõ ràng khối lượng tổng cộng của hệ sao đôi là:

$$\mu_* = a^3/T^2 \qquad \text{(VII.23)}$$

Nếu pháp tuyến mặt phẳng quỹ đạo của hệ sao đôi vật lý nghiêng với phương tia nhìn một góc i, khi đó vận tốc dịch chuyển theo phương tia nhìn $v_r = v.\sin i$. Chú ý $v = |\vec{v}| = |\vec{v}_x + \vec{v}_y|$ với i biến thiên từ 0° đến 90° (nếu từ ngoài rìa quỹ đạo nhìn vào). Hiểu theo nghĩa đó, hệ sao đôi che khuất (the eclipsing binary stars) sẽ ứng với $i = 90°$ (bởi lẽ chúng ta thấy sao A và sao B lần lượt che khuất lẫn nhau một cách có chu kỳ vì chúng lần lượt diễu qua phía trước mặt nhau).

Ví dụ quan sát thấy sao A và sao B là hệ sao đôi cùng quay quanh khối tâm với chu kỳ 4/3 năm theo quỹ đạo tròn, chúng luôn cách nhau 4 đvtv. Đo vận tốc tia cho kết quả tương ứng $v_A = 100$ km/s, $v_B = 400$ km/s. Hãy tính khối lượng sao A và sao B trong hệ đơn vị là khối lượng Mặt Trời.

Áp dụng (VII.23) ta được:

$$\mu_A + \mu_B = \mu = 4^3/(4/3)^2 = 36(\mu_\odot) \quad (*)$$

$$\mu_A / \mu_B = v_B / v_A = 400/100 = 4 \quad (**)$$

Từ (*), (**) ta có: $\mu_A = 28,8(\mu_\odot); \mu_B = 7,2(\mu_\odot)$.

Nếu những sao không thể đo được chu kỳ T và bán trục lớn a bằng phương pháp vừa nêu, khi đó ta có thể dựa vào quan hệ phụ thuộc giữa khối lượng μ_* và cấp sao tuyệt đối M_*, từ đó suy ra sự phụ thuộc giữa khối lượng μ_* và công suất bức xạ toàn phần L_*. Trong dãy chính:

$$\mu_* = L_*^{1/3} \quad \text{(VII.24).}$$

Ví dụ sao A có khối lượng gấp 10 khối lượng Mặt Trời thì độ trưng của sao $L_* = 10^3 L_\odot$.

Với những hiểu biết hiện nay về thế giới sao, người ta thấy rằng các sao ngoài dãy chính, ví dụ sao kềnh, sao trắt... giữa khối lượng và độ trưng cũng có mối quan hệ nhưng không thoả mãn công thức (VII.24). Với những sao đã xác định được khối lượng, ta thấy rằng khối lượng của chúng sai khác nhau trong phạm vi từ 0,1 lần đến 100 lần khối lượng Mặt Trời. Cũng từ (VII.24) chúng ta có thể sơ bộ đánh giá được một sao có khối lượng μ_* nó có thể sống (life times) được bao lâu. Để đánh giá, ta chú ý rằng sao sống nhờ nguồn năng lượng được sản sinh từ trong lòng sao. Nguồn năng lượng này do chuyển hoá khối lượng thành năng lượng theo công thức Einstein $E = \mu_* c^2$. Năng lượng $E \sim \mu_*$, còn độ trưng L_* tức là tốc độ tiêu thụ năng lượng $L_* \sim \mu_*^3$ (theo VII.24). Như vậy thời gian sống của sao:

$$\tau_* \sim E_* / L_* \sim 1/\mu_*^2 \quad \text{(VII.25)}$$

Từ (VII.25) ta thấy rằng sao càng nặng, độ trưng càng lớn, nhiên liệu cung để nó "sống hằng ngày" phải lớn nên chỉ tồn tại được thời gian ngắn hơn là sao nhẹ. Giá trị τ_* được đánh giá theo (VII.25) khác với tuổi của sao. Ví dụ Mặt Trời có $\tau_* = 10^{10}$ năm, nhưng tuổi hiện nay của Mặt Trời là 5.10^9 năm. Sau này khi nói đến sao già hoặc sao trẻ là phải nói tới những sao có cùng τ_* như nhau, nhưng tuổi khác nhau.

8. Thành phần các nguyên tố hoá học của vật chất cấu tạo nên các sao

Với hiểu biết hiện nay người ta thấy rằng 90% lượng vật chất trong vũ trụ mà ta nhận thức được đều tập trung trong các sao. Mỗi sao nhận giá trị khối lượng nhất định vào cỡ từ 1/10 đến 100 lần khối

lượng Mặt Trời. Vậy thành phần cấu tạo của số vật chất đó có giống như ở Mặt Trời không? Phép phân tích định tính và bán định lượng phổ bức xạ do các sao gửi đến sẽ cho chúng ta câu trả lời.

Quá trình phân tích phổ bức xạ để nhận biết thành phần các nguyên tố hoá học cấu tạo nên vỏ sao được tiến hành theo các bước sau:

– Chụp phổ bức xạ do quang cầu của sao đó gửi tới (nhờ máy chụp phổ).

– Đem bức ảnh phổ ghi được so sánh với phổ chuẩn của các nguyên tố chụp được trong phòng thí nghiệm để sơ bộ xác định sự có mặt của những loại nguyên tố nào trong khí quyển sao.

– Xác định độ rộng tương đương của đường phổ hấp thụ. Về lý thuyết đại lượng này có giá trị phụ thuộc vào áp suất, nhiệt độ và bản thân từng nguyên tố đã sản sinh ra vạch hấp thụ, do đó nó phụ thuộc vào căn bậc hai của mật độ hạt N (hoặc của lnN). Tuy nhiên, nó lại được xác định qua thực nghiệm đo độ đen của vạch phổ hấp thụ.

– Căn cứ đường cong thực nghiệm mô tả sự phụ thuộc giữa mật độ các nguyên tố đã sản sinh ra vạch hấp thụ và độ rộng tương đương của vạch phổ hấp thụ có trong khí quyển Mặt Trời, ta sẽ từ độ rộng tương đương của vạch hấp thụ trong khí quyển sao suy ra mật độ hạt tương ứng.

Nhờ cách làm trên đây, các nhà thiên văn đã bước đầu xác nhận các sao cùng loại như Mặt Trời, trong quang cầu của chúng thành phần các nguyên tố hoá học được cho ở bảng VII.3.

BẢNG VII.3

Tên nguyên tố	Nguyên tử số	$\lg\left(\frac{N_i}{\sum_i N_i}\right)+12$	Khối lượng trong cột quang cầu có diện tích 1cm², chiều cao bằng độ dày quang cầu (g/cm²)
Hyđrô	1	12,00	$1,1.10^{0}$
Hêli	2	10,99	$4,3.10^{-1}$
Ôxy	8	8,93	$1,5.10^{-2}$
Cacbon	6	8,60	$5,3.10^{-3}$
Nêôn	10	8,09	$2,7.10^{-3}$
Nitơ	7	8,00	$1,5.10^{-3}$
Sắt	26	7,67	$2,9.10^{-3}$
Magiê	12	7,58	$1,0.10^{-3}$
Silic	14	7,55	$1,1.10^{-3}$
Lưu huỳnh	16	7,21	$5,7.10^{-4}$

Ta có nhận xét chung là: trong khí quyển sao đại đa số là hyđrô và hêli, tiếp đến là ôxy, cacbon... theo tỷ lệ gần đúng như sau: cứ 10^{12} nguyên tử hyđrô thì có 10^{11} nguyên tử hêli và khoảng 10^{9} nguyên tử ôxy. Nó khá trùng với kết quả phân tích thành phần cấu tạo nên các mẫu thiên thạch rơi xuống Trái Đất.

Cũng vì các nguyên tố nặng hơn hêli tồn tại rất ít trong khí quyển sao, nên trong vật lý thiên văn người ta gộp tất cả những nguyên tố ấy thành tên gọi chung là các nguyên tố kim loại. Thông thường người ta không dùng tổng số các hạt nguyên tố có trong khí quyển sao mà hay dung tỷ số giữa tổng khối lượng của từng loại nguyên tố và khối lượng tổng cộng của khí có mặt trong môi trường xem xét. Theo quy ước đó X, Y, Z được hiểu là đại lượng tương ứng với nguyên tố hyđrô, hêli, và các nguyên tố kim loại. Rõ ràng X + Y + Z = 1. Trong các ngôi sao trẻ người ta ước tính được X = 0,70; Y = 0,28; Z = 0,02. Giá trị cụ thể của X, Y, Z sẽ quyết định tốc độ sản sinh ra năng lượng nhiệt hạch trong lòng các ngôi sao.

9. Phân loại sao và họa đồ quang phổ – Độ trưng

Để hình dung sao được hình thành, phát triển tiến hoá như thế nào, chúng ta không thể theo dõi từng sao cụ thể mà ta lợi dụng đặc điểm là quanh ta có vô số sao. Trong vô vàn sao đó, có loại vừa mới được sinh ra, loại đang lớn lên, loại đã về già... Nếu ta biết phân loại chúng một cách hợp lý, ta sẽ từng bước giải quyết được nhiệm vụ đặt ra. Cách làm này rất giống như cách làm của Darwin trong sinh học, của Mendeleev trong hoá học và của các nhà nghiên cứu hạt cơ bản.

Để phân loại sao ta phải dựa vào các đặc trưng của chúng, vấn đề là chọn ra dấu hiệu nào để phân loại. Thoạt đầu phải dựa vào dấu hiệu dễ "đo đếm" chính xác nhất, có nhiều số liệu nhất. Chính theo cách suy nghĩ này các nhà thiên văn đã chọn nhiệt độ T_* của các sao làm dấu hiệu để phân biệt những sao có đặc trưng ổn định thành bảy loại sao khác nhau như đã được liệt kê ở bảng VII.2. Chính trong quá trình phân loại này đòi hỏi phải chính xác khái niệm nhiệt độ nào thực sự đặc trưng cho từng loại sao: nhiệt độ màu hay nhiệt độ hiệu dụng. Nhưng cả hai loại nhiệt độ này đều được xác định với độ chính xác không cao. Từ 1896 tập thể các nhà thiên văn thuộc đài thiên văn trường đại học Harvard đã phân loại sao theo dấu hiệu vạch phổ hấp thụ của nguyên tử hyđrô. Vì thời đó chưa hiểu rõ nguồn gốc quyết

định vị trí, mức độ mạnh yếu của vạch hấp thụ nên đã xếp nhầm vị trí sao nhóm O (nhóm không chứa vạch hấp thụ của hyđrô). Sau khi lý thuyết phổ hấp thụ của nguyên tử, phân tử ra đời các nhà thiên văn đã kết hợp dấu hiệu vạch phổ hấp thụ của nguyên tử hyđrô và của vạch hấp thụ ứng với nguyên tử hoặc phân tử khác đồng thời xuất hiện để xác định chính xác nhiệt độ bề mặt các sao. Kỹ thuật xác định nhiệt độ theo phương pháp này cho độ chính xác với sai số nằm trong khoảng ±20 K đến ±50 K. Nếu xếp sao theo dấu hiệu nhiệt độ giảm dần như ở bảng VII.2 rõ ràng sao nhóm O, vì vật chất ở đó có nhiệt độ quá cao nên khí hyđrô bị ion hoá hoàn toàn không thể cho phổ hấp thụ trong miền quang học, nhưng nó lại có khả năng cho vạch phổ hấp thụ của ion hêli bậc một. Còn sao thuộc loại M, nhiệt độ thấp nhất tại đó nguyên tử hyđrô và các nguyên tử khác có thể liên kết thành phân tử, nên sẽ xuất hiện phổ hấp thụ phân tử.

Trong quá trình tìm hiểu sự phụ thuộc giữa vạch hấp thụ với nhiệt độ môi trường chứa vật chất đã bức xạ, các nhà thiên văn thấy thêm rằng độ rộng và mức độ đậm nhạt của vạch phổ hấp thụ còn phụ thuộc vào áp suất. Từ đó các sao trong cùng một nhóm có thể chia thành nhiều phân nhóm khác nhau. Nhưng muốn biết quá trình tiến triển của sao cụ thể, ta phải chọn thêm một dấu hiệu nữa. Ví dụ kết hợp chiều cao và cân nặng của một người sẽ cho ta hình dung khá cụ thể người đó thuộc thế hệ trẻ hay già nếu đem so sánh với biểu đồ mô tả quan hệ giữa chiều cao và trọng lượng cơ thể của cư dân nơi người đó sinh sống. Trong nghiên cứu sao, các nhà thiên văn đã đi theo con đường do Ejner Hertzsprung người Đan Mạch và Henry N.Russel người Đức đề xướng ra từ đầu thế kỷ XX. Hai ông đã lấy dấu hiệu nhiệt độ T và độ trưng L làm 2 dấu hiệu để phân loại sao. Cách phân loại này được biểu diễn trên sơ đồ hai chiều, gọi là họa đồ quang phổ độ trưng hay viết gọn là họa đồ quang phổ H – R như trên hình VII.4.

Hình VII.4

Từ họa đồ H – R có thể nhận thấy:

– Nếu giữa độ trưng L (hoặc cấp sao tuyệt đối M) và nhiệt độ T (hoặc loại quang phổ) không có quan hệ với nhau thì vị trí các sao trong họa đồ sẽ phân bố ngẫu nhiên nên đồng đều khắp mọi nơi.

– Thực tế các sao quan trắc được đều phần lớn tập trung quanh một dải hẹp kéo dài từ góc trái phía trên xuống góc phải phía dưới. Dải này được gọi là dải chính vì chứa đa số sao và các sao này là sao thông thường nghĩa là sao nào đó có nhiệt độ cao thì độ trưng lớn. Mặt Trời nằm ở phần dưới của dải này, nó thuộc phân nhóm GV.2 và được đánh dấu bằng dấu (+).

– Một số ít sao lại nằm ở vị trí gần góc trên bên phải dải chính. Những sao này có cùng nhiệt độ với sao dải chính tương ứng nhưng có độ trưng lớn hơn, chứng tỏ nó to hơn sao thuộc dải chính nên gọi là sao kềnh (giant stars).

– Một số ít loại khác nằm ở góc trái phía dưới dải chính, chúng thuộc loại sao nhỏ bé hơn sao thường cùng nhiệt độ nên có tên là sao trắt (dwarft) hay là sao lùn.

Hình VII.5

Nhìn lên giản đồ H–R, ta sẽ thấy được con đường tiến hoá có thể xảy ra cho một sao nhất định. Ví dụ một sao S, thoạt đầu có nhiệt độ T_0, độ trưng L_0, nếu nó muốn tăng nhiệt độ nhưng vẫn giữ độ trưng $L=L_0$, thì rõ ràng nó phải diễn biến theo đường song song với trục nhiệt độ theo chiều từ phải sang trái và cắt trục tung tại L_0. Đây là con đường mô tả quá trình sao S_1 co lại. Nếu sao S_1 giữ nguyên nhiệt độ nhưng muốn tăng độ trưng thì nó phải diễn biến theo đường song song với trục tung và đi từ dưới lên trên, phần kéo dài cắt trục hoành tại nhiệt độ T_0. Con đường này mô tả quá trình sao S_1 giãn nở ra. Trong thực tế, sự tiến hoá của sao S diễn ra theo đường cong phức tạp hơn nhiều, nếu đem biểu diễn lên họa đồ H–R. Người ta gọi con đường ta vừa nói tới là "vết tiến hoá" của sao trên giản đồ H–R. Việc phân loại sao theo nhóm và phân nhóm ta vừa đề cập ở phần trên giúp ta

dễ xác định vết tiến hoá của chúng. Ví dụ vết tiến hoá của sao thuộc nhóm G được biểu diễn bằng đường nét đứt trên họa đồ H–R (hình VII.5). Vết này được vẽ ra dựa trên mô hình lý thuyết về sự tiến hoá của sao sẽ được giới thiệu ở chương VIII.

Để thấy rõ hơn vai trò của họa đồ quang phổ H–R trong lĩnh vực thiên văn sao, chúng ta lưu ý rằng khối lượng μ_*, thành phần các nguyên tố hoá học cấu tạo nên sao quyết định hình dạng, kích thước và các tính chất lí hoá của vật chất cấu tạo nên sao cũng như quá trình tiến hoá của sao. Trong khi đó, ở Trái Đất của chúng ta chỉ có thể thông qua phép trắc quang, trắc phổ để đo nhiệt độ T_* và cấp sao nhìn thấy m_*. Tất cả những đặc trưng còn lại như độ trưng L_*, cấp sao tuyệt đối M_*, khối lượng μ_* đòi hỏi phải đo được khoảng cách, kích thước góc, tính chất chuyển động quanh thiên thể khác... mới có thể xác định được. Việc làm này chỉ đạt được độ tin cậy với những sao ở gần Mặt Trời, còn những sao ở quá xa ta khó mà đo được khoảng cách, kích thước góc của chúng. Trong trường hợp này ta dùng phương pháp ngoại suy trên cơ sở của họa đồ H–R và thừa nhận rằng sao cùng phân nhóm (cùng nhiệt độ, cùng áp suất) sẽ có cùng cấp sao tuyệt đối M_* dù là nó ở gần hay ở xa chúng ta. Đây là cơ sở của phép đo khoảng cách dựa trên phép đo thị sai quang phổ (spectroscopic parallax). Các bước của phép đo này như sau:

Bước 1: Căn cứ vạch phổ hấp thụ ghi được để xác định đối tượng đó thuộc nhóm sao nào trong bảng phân loại theo phổ.

Bước 2: Căn cứ độ rộng (độ nhòe) của vạch phổ hấp thụ ghi được để phân sao đó thuộc phân nhóm sao nào (I_a, I_b, II, III, IV hay là V).

Bước 3: Tìm vị trí của sao trong họa đồ H–R (theo số liệu của bước 2), kẻ đường vuông góc với trục nhiệt độ đi qua nhiệt độ đại diện cho nhóm của sao ta xét, trục này kéo thẳng lên sẽ cắt đường biểu diễn phân nhóm thuộc nhóm của sao xem xét.

Bước 4: Từ giao điểm nói trên kẻ đường nằm ngang kéo dài về tay trái sẽ cắt trục tung tại giá trị M_* cần tìm.

Bước 5: Từ mặt đất, dùng dụng cụ trắc quang đo cấp sao nhìn thấy m_* của đối tượng đang cần đo.

Bước 6: Áp dụng công thức tính môđun khoảng cách

$$m_* - M_* = 2500 \lg (d/10)^2 \Rightarrow d(ps) = 10^{(m_* - M_* + 5)/5}$$

Ta chú ý rằng biết được cấp sao tuyệt đối M_* tức là biết độ trưng L_*

Nếu dựa công thức liên hệ giữa độ trưng và khối lượng sao μ, trong từng dãy (dãy chính hoặc dãy sao kềnh, hoặc dãy sao trắt) ta suy được khối lượng của những sao đơn độc mà những phương pháp đo khối lượng trước đây không dùng được.

Dựa vào độ ổn định của các đại lượng đặc trưng cho thế giới sao, chúng ta có thể chia thế giới đó thành hai loại chính: sao ổn định và sao biến quang (Variable stars). Đại đa số các sao ổn định đều nằm trong dải chính trên họa đồ H–R, sao biến quang có thể thuộc thế hệ sao trẻ mới hình thành hoặc sao đã về già. Nghiên cứu sao biến quang có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong việc tìm hiểu sự tiến hoá của sao, do đó ta sẽ đề cập ngay trong phần tiếp theo.

II– SAO BIẾN QUANG

Sao biến quang được đề cập ở đây sẽ không bao hàm loại sao "biến quang" do che khuất lẫn nhau, mà chỉ đề cập tới loại sao biến quang do chính sự biến đổi của các đại lượng đặc trưng cho bản thân từng loại gây ra thay đổi độ sáng của sao. Thiên văn sao hiện đại gọi loại này là sao biến quang dạng mạch đập (the pulsating stars).

1. Lịch sử quan sát sao biến quang

Lần đầu tiên Davit Fabrixiot (David Fabricius) đã quan trắc được sao biến quang Mira vào năm 1595. Đó là sao biến quang chu kỳ dài. Nhưng mãi đến năm 1660 các nhà thiên văn mới xác định rõ chu kỳ biến đổi của nó vào khoảng 11 tháng. Gần 200 năm sau, năm 1784 một thanh niên 21 tuổi người Anh đã phát hiện sao δ thuộc chòm Thiên Vương (δ Cephei) cũng biến đổi độ sáng nhưng với chu kỳ chỉ có 5 ngày 8 giờ 48 phút.

Hình VII.6

Ta thấy đường biểu diễn thay đổi độ sáng của δ Cephei không ấn tượng bằng sao Mira (Xem hình VII.6 và VII.7). Tuy nhiên δ Cephei đại diện cho loại sao biến quang đặc biệt mang tên sao biến quang Thiên vương (Xêpheit). Loại sao biến quang này đóng vai trò rất quan trọng trong thiên văn vật lý vì chu kỳ thay đổi độ sáng của nó liên hệ trực tiếp tới cấp sao tuyệt đối. Mối liên hệ đó được bà Livit (Henrietta Swan Leavitt), nhà thiên văn người Mỹ, tìm ra bằng thực nghiệm:

Hình VII.7

$$M_{(v)} = -2,80.\lg\pi + 1,43 \qquad \text{(VII.26)}$$

Trong đó π là chu kỳ thay đổi độ sáng tính theo đơn vị ngày trên Trái Đất (1 ngày bằng 24h).

Như vậy, từ Trái Đất nếu quan sát sao biến quang Xêpheit ta xác định chu kỳ π (ngày), sau đó thay vào (VII.26) ta biết được $M_{(v)}$, thay $M_{(v)}$ vào công thức tính môđun khoảng cách (VII.4) ta biết được khoảng cách đến sao đó. Thông thường sao biến quang Xêpheit thuộc sao siêu kềnh (supergiant stars) có độ trưng L. gấp 50 lần và có R. gấp nghìn lần so với các đại lượng tương ứng của Mặt Trời. Đặc trưng này cho phép các nhà thiên văn có thể quan sát được các ngôi sao biến quang Xêpheit thuộc các thiên hà khác và sử dụng chúng như những ngọn đèn đánh dấu các mốc khoảng cách trong vũ trụ. Do đó các sao biến quang Xêpheit là phương tiện hữu hiệu để trắc đạc khi các phương pháp thị sai trở nên mất tác dụng.

Trước đây người ta cho rằng hiệu ứng thuỷ triều của hệ sao đôi làm thay đổi kích thước sao đồng hành, dẫn tới thay đổi độ sáng của nó. Nhưng đến năm 1914, Saplay (Horlow Shapley) lại cho rằng lực trên không đủ để gây ra thay đổi kích thước lớn đến mức có thể làm thay đổi độ sáng mà ta quan sát được. Ông cho rằng chính các sao đơn độc thực hiện dao động đều đặn dọc theo bán kính kiểu mạch đập đã làm thay đổi độ sáng chính nó. Bốn năm sau, Eddington đưa ra lý thuyết về sao biến quang Xêpheit cho kết quả khá phù hợp với những gì đã quan trắc được.

Trong thiên hà chúng ta có hàng triệu sao biến quang chiếm khoảng 10 phần triệu tổng số sao trong Thiên Hà. Chúng được chia thành 7 loại nhỏ có những đặc trưng tiêu biểu được liệt kê trong bảng VII.4.

BẢNG VII.4

Loại sao biến quang	Chu kỳ biến quang	Thuộc nhóm sao	Năm phát hiện	Dao động theo R	Dao động không theo R
Chu kỳ dài	100 ÷ 700 ngày	I, II	1595	x	
Biến quang cổ điển	1 ÷ 50 ngày	I	1784	x	
Biến quang Virginis W	2 ÷ 45 ngày	II		x	
Biến quang Lyrae RR	1,5h ÷ 24h	II		x	
Biến quang Scuti δ	1 ÷ 3 h	I		x	x
Biến quang thiên vương β	3 ÷ 7 h	I		x	x
Biến quang Setizz	100 ÷ 1000 s	I	1968	x	x

Ngoài các sao có chu kỳ biến quang được đề cập ở bảng VII.4, ngày nay người ta còn phát hiện sao biến quang "bất thường" tức là biên độ thay đổi độ sáng và chu kỳ thay đổi độ sáng cũng biến thiên theo thời gian và không theo một quy luật chặt chẽ. Điển hình trong số đó là sao Mira Ceti; UV Ceti và sao Betelgeuse trong chòm sao Tráng Sĩ (Orion).

Tiếp đến là các sao biến quang dạng xung rất ngắn mà đại diện là sao biến quang T Tauri (thuộc chòm sao Kim Ngưu), đây là một sao còn rất trẻ, đang trong thời kỳ co giảm kích thước chưa ổn định để trở thành sao thuộc dải chính. Hiện nay người ta rất quan tâm tới sao biến quang đột ngột hay gọi là biến quang kiểu bùng nổ (eruption). Nhóm này bao gồm sao mới (Nova) và sao siêu mới (Supernova) với đặc trưng cơ bản là độ sáng của nó tăng một cách đột ngột từ hàng chục đến hàng trăm nghìn lần chỉ trong vài giờ sau đó giảm từ từ trở về độ sáng ban đầu. Ví dụ sao mới trong chòm Thiên Ưng (Aquila) được phát hiện vào năm 1918, hay sao siêu mới SN1572, SN 1604 tương ứng do Tikho và Kepler lần đầu tiên phát hiện ra, sao siêu mới SN 1987A trong đám mây lớn Magellan. Thực ra sao siêu mới đã được các nhà thiên văn Trung Quốc dưới triều đại nhà Tống phát hiện vào

4/7/1054, tàn dư của sao siêu mới này chính là đám tinh vân hình con cua (crab nebula), đám tàn dư đó hiện nay vẫn còn giãn ra với tốc độ 1450km/s. Người ta ước tính được rằng trong thiên hà chúng ta cứ khoảng 30 đến 40 năm lại có một sao siêu mới xuất hiện, nhưng do bức xạ quang học bị môi trường vật chất giữa các sao hấp thụ rất mạnh nên bằng mắt thường ta thấy sao mới, sao siêu mới xảy ra ít hơn nhiều. Chính sao siêu mới là "lò luyện" nên các nguyên tố nặng hơn hêli trong vũ trụ, để từ đó tạo nên các nguyên tố chứa trong cơ thể sống, trong đó có nhân loại chúng ta.

2. Lý thuyết về sao biến quang

Nếu coi sự thay đổi độ sáng là do ngôi sao thay đổi thể tích của nó, khi đó ta có thể cho rằng một ngôi sao dao động dọc theo phương bán kính là hệ quả của sự lan truyền sóng âm từ trong lòng sao đi ra ngoài bề mặt. Nếu quá trình sóng âm là quá trình đoạn nhiệt thoả mãn hệ thức $PV^{\gamma} = const$ thì vận tốc truyền âm phụ thuộc vào khối lượng riêng ρ.

$V_a = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$ với B là môđun thể tích của khí, nó cho ta biết mức độ thay đổi thể tích khí khi thay đổi áp suất của nó, tức là:

$$B = -V\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_{ad} \text{ do đó } V_a = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \qquad \text{(VII.27)}$$

Mặt khác theo mô hình sao ở chế độ cân bằng thuỷ tĩnh thì

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{G\mu_r\rho}{r^2} = -\frac{4}{3}\pi G\rho^2 r \qquad \text{(VII.28)}$$

Và coi rằng ở nhiệt độ ngoài cùng của quang cầu, khí có mật độ không đáng kể tức là:

$$P_{|r=R} = 0 \text{ thì } P(r) = \frac{2}{3}\pi G\rho^2\left(R^2 - r^2\right) \qquad \text{(VII.29)}$$

Khi đó chu kỳ sóng âm π được đánh giá

$$\pi \approx 2\int_0^R \frac{dr}{V_a} = 2\int_0^R \frac{dr}{\sqrt{\frac{2}{3}\gamma G\pi\rho\left(R^2 - r^2\right)}} \Rightarrow \pi \approx \sqrt{3\pi/2\gamma G\rho} \qquad \text{(VII.30)}$$

Ví dụ với sao biến quang Xêpheit cổ điển $R_* = 50R_0$; $\mu_* = 5\mu_0$; $\gamma = 5/3$. Khi đó $\pi = 10$ ngày, điều này khá phù hợp với kết quả quan trắc được.

Sóng âm truyền theo hướng bán kính là sóng dừng truyền trong môi trường có tâm sao là một nút, bề mặt sao luôn là bụng sóng do đó chỉ có một số mode nhất định của sóng dừng lan truyền đến bề mặt. Nó bao gồm mode cơ bản (Fundamental), mode âm bội bậc 1 (1st overtone), mode âm bội bậc 2 (2nd overtone)... Chính các mode sóng âm này làm cho bề mặt sao biến quang lệch khỏi vị trí cân bằng một lượng là δR. Các sao biến quang chu kỳ dài, chủ yếu là do mode cơ bản quyết định, còn sao biến quang RR Lyra là gồm mode cơ bản và mode âm bội bậc 1 với van đặc biệt. Theo Eddington, các sao biến quang được xem là các động cơ nhiệt. Một động cơ nhiệt sẽ sinh công lớn nhất khi đốt khí ở thời điểm nén tới áp suất cao nhất. Tương tự như vậy trong mỗi lớp khí phải tồn tại cơ chế sao cho nó hấp thụ nhiệt mạnh nhất xung quanh thời điểm nó bị nén chặt nhất. Cơ chế nào làm cho hệ số hấp thụ của khí phải tăng khi nó bị nén? Bởi theo luật hấp thụ Kramers, hệ số hấp thụ bức xạ trung bình $\bar{K}$ tỷ lệ với $\frac{\rho}{T^{3.5}}$. Rõ ràng khi nén khí cả mật độ ρ và nhiệt độ T của khí đều tăng, nhưng $\bar{K}$ phụ thuộc mạnh vào T hơn là ρ nên đại bộ phận các lớp khí trong lòng sao đều có hệ số hấp thụ trung bình giảm xuống khi bị nén. Điều này khá phù hợp với kết quả ta chỉ quan sát được không quá 10 phần triệu các sao trong thiên hà là sao biến quang mạch đập. Van đặc biệt mà Eddington nói tới sau này đã được nhà thiên văn người Nga S.A Zhevakin cho rằng đó là những vùng chứa khí bị ion hoá chưa hoàn toàn. Với gợi ý này Rudolph Kippenhalm, Norman Baker, John Cox đã tính toán khá chi tiết và xác nhận trong các sao có 2 vùng khí bị ion riêng phần: Vùng 1 gồm HI và HII, HeI, HeII; Vùng 2 chỉ có HeII và HeIII.

Trong những vùng này một phần công do "động cơ nhiệt" sinh ra được dùng vào việc ion hoá tiếp khí chưa bị ion hoá hết, nên nhiệt độ khí tăng chậm khi bị nén, do đó $\bar{K}$ sẽ tăng do mật độ khí tăng mạnh khi bị nén hơn là nhiệt độ. Vùng này đóng vai trò như một pittông điều khiển năng lượng chảy qua các lớp khí trong lòng sao đảm bảo các sao loại này dao động theo kiểu mạch đập. Ta có thể hiểu một cách định lượng hơn qua mô hình 1 vùng (one–zone model) sau đây.

Ta vẫn coi sao biến quang mạch đập chỉ thực hiện dao động theo phương bán kính, nếu áp dụng phương trình định luật II Newton cho khối khí chứa trong một đơn vị thể tích cách tâm một khoảng r, ta sẽ có:

$$\rho\frac{d^2r}{dt^2} = -G\mu_r\frac{\rho}{r^2} - \frac{dP_r}{dr} \qquad \text{(VII.31)}$$

Với $\mu_r = \int_0^r 4\pi r^2 \rho_r dr$, và P_r là áp suất khí ở vị trí cách tâm một khoảng r, nó giảm dần theo khoảng cách.

Vì ta không biết chính xác quy luật phụ thuộc của khối lượng riêng ρ và áp suất P vào bán kính như thế nào, nên ta giải (VII.31) gần đúng theo mô hình một vùng với ý tưởng như sau:

– Coi toàn bộ khối lượng chứa trong hình cầu bán kính R đều tập trung tại tâm O.

– Ở phía ngoài hình cầu có lớp khí có độ dày δr bao quanh, nó có khối lượng m.

Hình VII.8

– Lớp khí này được giữ bởi lớp khí không trọng lượng nhưng có áp suất P, bên ngoài là chân không (xem hình VII.8).

Phương trình động lực học viết cho m có dạng:

$$m\frac{d^2R}{dt^2} = -G\frac{\mu m}{R^2} + 4\pi R^2 P \qquad \text{(VII.32)}$$

Khi m ở trạng thái cân bằng tại $R = R_0$ thì:

$$4\pi R_0^2 P_0 = G\frac{\mu m}{R_0} \qquad \text{(VII.33)}$$

Nếu m dao động nhỏ thì:

$$R = R_0 + \delta R\,,\ P = P_0 + \delta P \qquad \text{(VII.34)}$$

Thay (VII.34) vào (VII.32) ta có:

$$m\frac{d^2}{dt^2}(R_o + \delta R) = -\frac{G\mu m}{(R_o + \delta R)^2} + 4\pi(R_o + \delta R)^2(P_o + \delta P).$$

vì $R_o > \delta R$, $P_o > \delta P$ nên $\frac{1}{(R_o + \delta R)^2} \approx \frac{1}{R_0}(1 - 2\frac{\delta R}{R_0})$

Chỉ giữ đến số hạng bậc một và chú ý điều kiện cân bằng ở (VII.33) ta được :

$$m\frac{d^2(\delta R)}{dt^2} = 2\frac{G\mu M}{R_o}\delta R + 8\pi R_o P_o \delta R + 4\pi R_0^2 \delta P \qquad \text{(VII.35)}$$

Nếu dao động là quá trình đoạn nhiệt thì quan hệ giữa P, V như sau:

$$PV^{\gamma} = const \Rightarrow \ln P + 3\gamma \ln R = 0 \text{ chú ý } V = \frac{4}{3}\pi R^3$$

Ta được $$\frac{\delta P}{P_0} = -3\gamma \frac{\delta R}{R_o} \qquad \text{(VII.36)}$$

Thay vào (VII.35) với chú ý $G\frac{\mu m}{R_0^2} = 4\pi R_o^2 P_o$ ta có:

$$\frac{d^2}{dt^2}(\delta R) = -(3\gamma - 4)(\frac{G\mu}{R_o^3})\delta R \qquad \text{(VII.37)}$$

* Nếu $3\gamma > 4 \rightarrow \gamma > \frac{4}{3}$ thì phương trình (VII.37) biểu diễn dao động điều hòa, nên $\delta R = \sin \omega t$ với

$$\omega^2 = (3\gamma - 4)\frac{G\mu}{R_o^3} \qquad \text{(VII.38)}$$

Chu kỳ dao động

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4}{3}\pi G\rho_o(3\gamma - 4)}} \qquad \text{(VII.39)}$$

Cho kết quả khá phù hợp với cách đánh giá theo vận tốc truyền âm.

* Nếu $3\gamma < 4 \rightarrow \gamma < \frac{4}{3}$ khi đó vế phải của (VII.37) tăng tuyến tính theo δR, nên $\delta R = Ae^{-kt}$ với $k^2 = (3\gamma - 4)\frac{G\mu}{R_0^2}$

δR giảm nhanh tới 0, dao động tắt nhanh. Hơn nữa khi R giảm ($\delta R < 0$) khí bị nén, nhưng khi đó sự tăng áp suất không đủ để chống lại sự tăng lực nén do hấp dẫn sẽ dẫn đến sao bị sụp đổ. Sự sụp đổ này sẽ không xảy ra nếu có mặt áp suất khí electron suy biến như R. H Fowler, nhà thiên văn người Mỹ đã chỉ ra từ năm 1926. Tiếp tục ý tưởng của Fowler, người ta đã đánh giá được áp suất khí electron suy biến P_e qua biểu thức:

$$P_e = \frac{(3\pi^2)^{\frac{2}{3}}}{5}\frac{\hbar^2}{m_e}\left[\left(\frac{Z}{A}\right)\frac{\rho}{m_H}\right]^{\frac{5}{3}} \qquad \text{(VII.40)}$$

Trong đó $n_e = \frac{N_e}{V} = \frac{N_e}{\sum \text{nucleon}}\frac{\sum \text{nucleon}}{V} = \left(\frac{Z}{A}\right)\frac{\rho}{m_H}$ với Z là số proton

A là số nuclêon trong lõi của sao mà áp suất khí electron suy biến cân bằng với áp lực của hấp dẫn.

Từ biểu thức đánh giá P_e ta suy ra giới hạn Chandrasekhar

$$R_{g/h} = \frac{(18\pi)^{2/3}}{10}\frac{\hbar^2}{Gm_e\mu_*^{1/3}}\left[\left(\frac{Z}{A}\right)\frac{1}{m_H}\right]^{5/3} \qquad \text{(VII.41)}$$

$$\mu_{g/h} = \frac{3\sqrt{2\pi}}{8}\left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{3/2}\left[\left(\frac{Z}{A}\right)\frac{1}{m_H}\right]^2 \qquad \text{(VII.42)}$$

Nếu xét sao giàu cacbon thì $\frac{Z}{A} = 0,5 = 6/12$, khi đó $\mu_{g/h} = 0,44\mu_\odot$

Tính toán chi tiết hơn cho ta giá trị $\mu_{gh} = 1,44\mu_\odot$.

Nếu khối lượng sao ban đầu vượt quá μ_{gh}, thì áp suất khí electron suy biến cũng không chống đỡ nổi lực nén hấp dẫn, sao đó sẽ bị nén tiếp tới kích thước nhỏ đến mức các electron sẽ kết hợp với proton tạo thành nơtron. Điều này đã được Walter Baade (1893 – 1960) và Fritz Zwisky (1898 – 1974) cùng nêu ra vào năm 1934, nghĩa là 2 năm sau kể từ khi James Chad Wich phát hiện ra hạt nơtron trong vũ trụ.

Bản thân các nơtron cũng là hạt có spin bán nguyên, nên chúng cũng tuân theo nguyên lý loại trừ Pauli, đồng thời là vi hạt nên bị chi phối bởi nguyên lý bất định Heisenberg, tức là nơtron cũng là khí suy biến. Và áp suất khí nơtron suy biến sẽ giữ cho sao nơtron ổn định nếu nó có khối lượng không vượt quá 3 lần khối lượng Mặt Trời. Điều này đã được Volkoff và Oppenheimer chỉ ra do hiệu ứng tương đối tính. Nếu áp suất của khí nơtron suy biến không chống đỡ nổi áp lực lực hấp dẫn thì sao sẽ sụp đổ hoàn toàn để trở thành một hố đen. Khi đạt đến trạng thái này sao trở nên siêu đặc đến mức $v_{II} = \sqrt{\frac{2G\mu_*}{R_s}} \approx c = 3.10^8$ m/s. Nghĩa là mọi đối tượng kể cả photon đều bị giam hãm trong hố đen. Bằng cách này ta được biểu thức tính bán kính Schwarzchild:

$$R_s = 2G\mu_*/c^2 \qquad \text{(VII.43)}$$

BÀI TẬP CHƯƠNG VII

7.1. Năm 1838, sau 4 năm quan sát, Bessel đo được thị sai nhật tâm của sao 61 trong chòm Thiên Nga là $\pi = 0,316''$. Hãy so sánh khoảng cách từ ta đến sao đó dựa theo kết quả đo của Bessel và của các nhà thiên văn hiện nay. Biết rằng kết quả đo hiện nay là 11,1 n.a.s.

7.2. Đặt máy đo trên khinh khí cầu, người ta đo được thị sai nhật tâm nhỏ nhất là $\pi = 0{,}001''$. Tính khoảng cách đến sao đó ? Nếu để ý đến khoảng cách từ Mặt Trời tới tâm Thiên Hà chúng ta là 8.10^3ps. ta có nhận xét gì về phạm vi ứng dụng phương pháp xác định thị sai để đo khoảng cách đến các thiên thể?

7.3. Sao Chức Nữ (sao α trong chòm Thiên Cầm) có cấp sao nhìn thấy m = + 0,04. Biết rằng nó cách ta 8 ps. Hỏi cấp sao tuyệt đối và mô đun khoảng cách của sao đó.

7.4. Sao α trong chòm Tráng Sĩ có cấp sao nhìn thấy m = + 0,41, cấp sao tuyệt đối M = –5,47. Hãy:

a) Tính khoảng cách đến sao α.

b) So sánh độ sáng của α với Mặt Trời biết rằng Mặt Trời có cấp sao nhìn thấy m_0 = – 26,81 và cách ta 1 đ.v.t.v.

7.5. Trong 1 phút, sao α trong chòm Tráng sĩ gửi đến $1cm^2$ ở mặt đất lượng bức xạ là $7{,}7.10^{-11}$ calo. Phép đo thị sai nhật tâm và bán kính góc sao đó được giá trị tương ứng là 0,011"; 0,0235". Hãy tính độ trưng và nhiệt độ hiệu dụng ngôi sao đó.

7.6. Một kính thiên văn quang học, vật kính có đường kính 2m, hiệu suất ghi nhận photon 20% được đặt tại mặt đất nơi mà khí quyển cho 50% ánh sáng tới truyền qua. Khi hướng về sao cách ta 1,5 ps, ta thu được 10^{10} photon trong mỗi giây, có λ = 5000Å. Hãy tính độ trưng đơn sắc của sao đó.

7.7. Kể từ năm 1862 người ta đã chụp được ảnh của hệ sao đôi Thiên Lang A và Thiên Lang B. Đo được thị sai của chúng là $\pi = 0{,}38''$. Hệ sao đôi đó cùng quay quanh khối tâm chung với chu kỳ 50 năm, bán trục lớn quỹ đạo 7,6" và chúng cách khối tâm chung theo tỷ lệ 1: 2. Tính khối lượng của chúng theo khối lượng Mặt Trời.

7.8. Hãy nêu các phương pháp khả dĩ để đo khối lượng và đo khoảng cách đến các sao? Đánh giá ưu nhược điểm của từng phương pháp.

7.9. Tính bán kính sao β trong chòm Nhân mã theo bán kính Mặt Trời. Biết rằng cấp sao tuyệt đối và nhiệt độ của sao β và của Mặt Trời tương ứng là: M = –5; T = 21000K; $M_\odot$ = + 4,8; $T_\odot$ = 5800K.

Chương VIII

SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC SAO

(Evolution of the stars)

Sao là một thực thể vật lý, nó được sinh ra, lớn lên rồi già đi và chết. Quá trình đó kéo dài hàng tỷ năm, và có thể chia thành 10 giai đoạn chính sau đây.

Hình VIII.1

I– CÁC GIAI ĐOẠN CHÍNH TRONG QUÁ TRÌNH TIẾN HOÁ CỦA SAO

1. Giai đoạn 1: Đám mây vật chất (the inter–stellar Medium)

Không gian giữa các sao là môi trường chân không lý tưởng, nó chỉ chứa $10^{-5} \div 1$ hạt trong $1cm^3$. Để hình dung, chúng ta nhớ rằng $1cm^3$ không khí bao quanh Trái Đất trung bình chứa 10^{24} hạt và độ chân không cao nhất mà kỹ thuật hiện nay tạo ra được trong điều kiện ở Trái Đất vẫn còn chứa hàng tỷ hạt trong $1cm^3$!

Tuy nhiên, môi trường vật chất của sao ở giai đoạn sơ khai nhất, hắc chắn phải đậm đặc hơn vật chất trong không gian giữa các sao. Môi trường đó chủ yếu chứa khí hydrô và heli và theo thuyết vụ nổ lớn (Big–Bang), nó chỉ được hình thành không sớm hơn 50 triệu năm sau khi vụ nổ lớn xảy ra. Đây là kết quả của quá trình vũ trụ nguội dần tạo cơ hội để các electron kết hợp với proton thành nguyên tử hydrô, nguyên tử heli; sau đó lực hấp dẫn đóng vai trò tương tác chủ đạo. Đồng thời những thăng giáng ngẫu nhiên làm cho vũ trụ trở nên không đồng đều. Tại những miền có mật độ vật chất lớn, dưới tác dụng của lực hấp dẫn ngày càng lớn hơn vật chất ngưng tụ đạt đến độ đậm đặc có hơn một hạt trong $1cm^3$ và trở thành đám mây vật chất sao (an inter–stellar cloud). Nếu đám mây có được kích thước hàng tỷ kilômét, lực hấp dẫn giữa các hạt sẽ đủ lớn để gắn chúng lại, một phần năng lượng hấp dẫn sẽ làm nóng khối vật chất đến nhiệt độ 10^2K.

2. Giai đoạn 2: Đám mây tích tụ (Contraction of the cloud)

Khi nhiệt độ vật chất đạt tới hàng trăm độ Kevin, ngoài lực hấp dẫn tiếp tục làm cho khối vật chất trong đám mây thu gọn kích thước, còn có thêm lực va chạm giữa các hạt. Kết quả nhiệt độ của khối vật chất sẽ đạt tới 500K. Tại nhiệt độ này, sự va chạm do chuyển động nhiệt càng dữ dội, đủ để bóc hết các electron quanh hạt nhân tạo nên môi trường plasma. Đồng thời làm cho khối vật chất ở giai đoạn 1 bây giờ chỉ quy tụ trong miền không gian vài trăm triệu kilômét, tức là cỡ 30 nghìn kích thước Trái Đất. Quá trình này kéo dài từ hàng triệu đến hàng tỷ năm tùy thuộc vào khối lượng khối vật chất ban đầu. Khối lượng càng lớn, tốc độ co lại của đám mây càng nhanh (xem hình VIII.2).

Hình VIII.2

Hình VIII.3

3. Giai đoạn 3: Thời kỳ nguyên thuỷ của sao (the proto–star) hay còn gọi là thời kỳ "tiền sao"

Lực hấp dẫn tiếp tục nén đám mây plasma, làm cho nó trở nên sáng loáng, nhiệt độ tại trung tâm của tiền sao vào khoảng 150.000K, còn ở phía ngoài cùng thì thấp hơn, chỉ cỡ 3500K. Tuy nhiệt độ bề mặt chưa thật cao nhưng do kích thước lớn nên độ trưng của tiền sao rất lớn và cần lưu ý rằng chính sự co giảm kích thước đã chuyển một phần thế năng hấp dẫn sang nhiệt năng, quang năng. Ở giai đoạn này, tiền sao có thể tiến triển theo hai hướng tùy thuộc khối lượng của nó.

– Nếu khối lượng không đủ lớn, quá trình nén vật chất không đủ để khởi tạo phản ứng nhiệt hạch trong lòng tiền sao, thì nó sẽ trở thành hành tinh khổng lồ chứa khí nóng sáng. Vì nóng sáng nó bức xạ trong không trung rồi nguội dần. Mộc tinh, Thổ tinh trong hệ Mặt Trời rất có thể là sản phẩm của tiền sao đã nguội. Nếu khối lượng tiền sao lớn gấp hàng trăm lần khối lượng Mộc tinh, nhưng chưa đạt ngưỡng để khởi tạo phản ứng hạt nhân ở tâm thì những tiền sao này không trở thành ngôi sao thực sự kiểu như Mặt Trời mà trở thành sao lùn nâu (Brown dwarf). Sao lùn nâu không bị lực hấp dẫn nén để co tiếp nhờ có sự chống đỡ chủ yếu của áp suất khi electron suy biến ở trong lõi sao (xem hình VIII.3).

– Nếu khối lượng đủ lớn, lực hấp dẫn làm cho khối vật chất tiếp tục co giảm thể tích. Tại trung tâm lõi tiền sao, nhiệt độ đủ cao (khoảng 15 triệu độ) giam giữ các hạt trong không gian nhỏ hơn bán kính tác dụng của lực hạt nhân, phản ứng nhiệt hạch bắt đầu khởi phát và tiền sao trở thành ngôi sao đúng với nghĩa của nó.

4. Giai đoạn 4: Thời kỳ sao còn trẻ

Khi nhiệt độ ở vùng quanh tâm sao trẻ đạt đến 15 triệu độ, lực hạt nhân trở nên đáng kể, chi phối phản ứng nhiệt hạch và toả ra năng lượng rất lớn duy trì sự sống của sao. Tổ hợp sao Pleiades trong chòm sao Kim Ngưu (Taurus) là một trong những đám sao trẻ khuếch tán (a young open cluster) (xem hình VIII.4).

Hình VIII.4

5. Giai đoạn 5: Thời kỳ sao trưởng thành (the mature star)

Đây có thể coi là giai đoạn ổn định nhất của sao, tuy trong lòng sao, hyđrô tiếp tục bị đốt cháy để trở thành hêli, kèm theo năng lượng toả ra cực lớn đủ để giữ cho toàn bộ khối khí nóng bỏng tồn tại ở chế độ gần như cân bằng thuỷ tĩnh và cân bằng động lực học. Tùy kích thước của sao và tốc độ xảy ra phản ứng nhiệt hạch ở vùng lân cận quanh tâm sao sẽ quyết định sao bức xạ chủ yếu ở vùng bức xạ nào của thang sóng điện từ. Nhiệt độ bề mặt sao càng cao, sao có màu càng xanh. Sao có khối lượng lớn tiêu thụ năng lượng càng nhiều để duy trì chế độ cân bằng của nó. Những ngôi sao có khối lượng tương đương với Mặt Trời sẽ tiêu thụ hết nhiên liệu trong vòng 10 tỷ năm, sao nặng gấp 100 lần Mặt Trời, ước tính tiêu thụ gấp 10 nghìn lần, tức là chúng chỉ duy trì đời sống ổn định khoảng 100 triệu năm. Ngược lại sao nặng bằng 1/10 Mặt Trời sẽ sống đến 100 tỷ năm. Đây là giai đoạn dài nhất trong cả cuộc đời của một ngôi sao.

6. Giai đoạn 6: Thời kỳ sao Kềnh đỏ (the Red Giants)

Thông thường khi một ngôi sao tiêu thụ hết khoảng 10% lượng hạt nhân hyđrô mà nó có, sẽ làm tăng độ sáng của nó lên khoảng 50%. Hạt nhân hêli, sản phẩm của quá trình tổ hợp 4 hạt nhân hyđrô, nặng hơn hyđrô nên sẽ ngập sâu vào trung tâm, đẩy hạt nhân hyđrô còn lại ra phía ngoài. Kết quả là làm giảm tốc độ phản ứng tổ hợp hạt nhân hyđrô xuống một nửa. Thế là nhiệt lượng được chuyển ra ngoài cũng giảm xuống làm cho nhiệt độ quang cầu của sao bây giờ chỉ đạt khoảng 3000K, sao trở nên đỏ hơn trước đây.

Nếu ở miền lân cận tâm sao, quá trình tổ hợp hạt nhân dừng lại, trong khi đó bề mặt quang cầu vẫn phát xạ, sức nặng của hấp dẫn vẫn tiếp tục nén sao, làm xoá đi chế độ cân bằng động trước đây. Lõi sao bị nén mạnh, co lại làm cho nhiệt độ toàn bộ lõi sao tăng lên đến mức tại một số điểm ở ngay phần ngoài lõi đạt tới 15.10^6K. Thế là phản ứng tổ hợp hyđrô thành hêli diễn ra ở lớp bao quanh ngay phần ngoài của lõi sao, sản sinh năng lượng làm tăng đột ngột áp suất bức xạ khiến sao giãn nở rất mạnh. Các nhà thiên văn coi đây là "hơi thở" cuối cùng của sao. Do giãn nở nhanh nên sao nhanh chóng hạ thấp nhiệt độ, trở thành ngôi sao Kềnh đỏ (the Red giant).

Theo tính toán hiện nay, khoảng gần 5 tỷ năm nữa, Mặt Trời của chúng ta sẽ trở thành sao kềnh đỏ có bán kính trải rộng đến quỹ

đạo Kim tinh, khi đó mọi sinh vật trên Trái Đất sẽ bị thiêu cháy thành tro!

7. Giai đoạn 7: Thời kỳ bùng nổ do heli (the Helium flash)

Lõi sao chứa hạt nhân heli sẽ tiếp tục co cụm lại, tuy nhiên chưa đủ để trong lõi đó có thể xảy ra phản ứng tổ hợp hạt nhân Heli, nhưng đủ để làm cho plasma gồm hạt nhân và các electron đậm đặc đến một mức không thể xem plasma như khí lý tưởng nữa. Dần theo thời gian, độ đậm đặc càng tăng và khi đạt tới mật độ hàng nghìn kilogam trên $1cm^3$, khi đó, khí electron đậm đặc tỏ ra rất giống vật rắn về tính giản nở vì nhiệt, cụ thể là tăng nhiệt độ chỉ gây ra tăng rất ít về thể tích. Nhiệt độ phần lõi sao tăng liên tục một cách đều đặn sẽ đến lúc đạt tới nhiệt độ đủ để hạt nhân hyđrô nằm trong miền kề cạnh lõi sao có thể kết hợp với nhau để thành heli kèm theo toả năng lượng làm tăng nhiệt độ lõi sao lên đến 100 triệu độ Kenvin. Tại nhiệt độ này, hạt nhân heli sẽ kết hợp với nhau tạo thành hạt nhân các nguyên tố nặng hơn, trong đó 3 hạt nhân heli kết hợp cho hạt nhân ^{12}C diễn ra với xác suất lớn nhất.

Khi có nguồn năng lượng mới, nhiệt độ lõi sao tăng nhanh nhưng lõi sao quá đậm đặc nên độ giản nở vì nhiệt không đủ lớn để bù trừ với nhiệt vừa được sinh ra. Điều này càng làm cho tốc độ đốt cháy nhiên liệu heli tăng lên. Kết quả là áp suất tại miền lõi sao đã vượt ngưỡng, một vụ nổ trong lòng sao xảy ra, đó là sự bùng nổ do heli. Nhưng lưu ý là bùng nổ này diễn ra trong lõi chứa heli của sao, khi lan truyền ra đến quang cầu, ta chỉ quan sát thấy tăng độ sáng của sao một cách đột ngột với biên độ vừa phải, do đó bùng nổ này còn có tên gọi khác là "lóe sáng do đốt cháy heli" (the helium flash).

Thời gian kể từ khi bắt đầu diễn ra phản ứng tổ hợp hạt nhân heli đến lúc vụ nổ nói trên xảy ra chỉ vẻn vẹn trong khoảng không quá 10h với cuộc sống kéo dài hàng tỷ năm của sao thật đúng là "một khoảnh khắc lóe sáng!".

8. Giai đoạn thứ 8: Thời kỳ sao heli (the helium star)

Sau vụ nổ do heli diễn ra, lõi sao tăng thể tích, kéo theo giảm nhiệt độ của lõi sao và của vành chứa hạt nhân hyđrô bao quanh lõi đó. Kết quả dẫn tới khối plasma gồm hạt nhân heli và các electron trở nên kém đậm đặc và nó lại gần với khí lý tưởng hơn là vật rắn. Mặt

khác, nhiệt độ giảm kéo theo giảm tốc độ "đốt cháy" nhiên liệu ở trong lõi và cả trong lớp bao quanh vỏ đó. Khi bắt đầu thời kỳ này, độ trưng của quang cầu giảm xuống rõ rệt. Nhiệt độ bề mặt sao giảm, sẽ tạo cơ nội để sao đó giảm nhanh kích thước các lớp ngoài cùng và phải mất khoảng 10 nghìn năm, mới xác lập lại chế độ cân bằng giữa lực nén do hấp dẫn và áp lực do bức xạ đi từ trong ra.

Ở thời kỳ cân bằng mới này, trong lòng sao có hai vùng sản sinh năng lượng, đó là:

– Tại miền trung tâm lõi sao, chủ yếu là hạt nhân hêli ở nhiệt độ khoảng 200 triệu độ K, diễn ra phản ứng:

$$3\,{}^{4}_{2}H \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma \text{ và } 4\,{}^{4}_{2}H \rightarrow {}^{16}_{8}O + \gamma .$$

– Tại miền bao quanh lõi sao, chủ yếu chứa hạt nhân hyđrô ở nhiệt độ 15 triệu độ K, diễn ra phản ứng :

$$4\,{}^{1}_{1}P \rightarrow {}^{4}_{2}H + 2e^{+} + {}^{0}_{0}\bar{\nu} + \gamma .$$

Tuy nhiên phản ứng tổ hợp hêli sản ra năng lượng đóng vai trò chủ đạo. Kể từ đây, phần lõi chứa hạt nhân hêli của sao đóng vai trò tương tự như vai trò của lõi chứa proton ở giai đoạn 5 và 6, tức là sẽ diễn ra tích tụ hạt nhân cacbon về tâm sao và lúc này sao có cấu trúc lớp như hình vẽ VIII.5.

Hình VIII.5

Tại vùng quanh tâm sao, nhiệt độ đủ cao để hạt nhân hêli tổ hợp thành nhân cacbon và oxy, thế là lớp ngoài cùng lại bị bức xạ từ phần lõi đi ra làm cho giãn nở, sao lại biến thành sao Kềnh đỏ lần thứ 2, nhưng lần này quá trình chỉ xảy ra trong vài triệu năm

9. Giai đoạn thứ 9: Thời kỳ hấp hối của sao: sao lùn trắng (the white Dwarf) và sao siêu mới (the supernova)

Một khi hyđrô đã chuyển hết thành hêli và đại bộ phận hạt nhân hêli đã chuyển thành cacbon và oxy, nguồn nhiên liệu đã cạn kiệt, áp lực hấp dẫn lấn át áp lực bức xạ từ trong đi ra làm cho miền lõi chứa hạt nhân cacbon của sao trở nên vô cùng đậm đặc. Nhiệt độ tăng lên và tại phần ngoài của lõi sao đạt tới 50 đến 10 nghìn độ K. Đến thời điểm này số phận cuối cùng của sao sẽ do khối lượng ban đầu của sao quyết định. Cụ thể là:

a) Với những sao có khối lượng $0,1\mu_o \leq \mu_* < 4\mu_o$ ***(Được gọi là sao loại nhỏ, sao nhẹ)***

Vì nhiên liệu cạn kiệt, sao sẽ nguội dần, tại thời điểm vật chất ở phần ngoài của sao trở thành khí trung hòa nhờ quá trình tái kết hợp giữa các electron và các hạt nhân hình thành lớp vỏ sao chứa các nguyên tử với mật độ khá lớn. Đồng thời với sự co lại của lõi, lớp ngoài cùng tách dần ra khỏi sao trở thành lớp sáng loáng trông tựa như vành đai khí hình nhẫn nhờ nhận bức xạ đi từ lõi sao ra. Đã có thời các nhà thiên văn gọi nó là "đám tinh vân hành tinh" (the planetary nebulae), mặc dù hiện nay chúng ta biết rõ rằng đám mây hình nhẫn này không có quan hệ gì với hệ hành tinh quay quanh các ngôi sao, nhưng vì tính chất lịch sử ta vẫn giữ tên gọi ban đầu không chính xác đó.

Phần lõi sao tuy nhiệt độ và kích thước đều giảm nhưng nó vẫn còn đủ duy trì độ sáng trong một thời gian. Người ta gọi sao thời kì này là sao lùn trắng (the white Dwarf), nó chỉ giữ lại khoảng gần 1/2 khối lượng sao ở giai đoạn ban đầu. Sao Thiên Lang B, bạn đồng hành với sao Thiên Lang A là một ví dụ điển hình của sao lùn trắng mà hiện nay đã biết.

b) Với những sao có khối lượng trung bình $4\mu_0 \leq \mu_* < 8\mu_0$

Do có khối lượng lớn, nên khi đã hết nhiên liệu cho phản ứng hạt nhân, sao bị sụp đổ nhanh chóng do lực hấp dẫn. Lõi sao bây giờ là

một khối hạt nhân cacbon bị nén chặt nhưng chưa đủ để xảy ra phản ứng tổ hợp hạt nhân cacbon, mãi tới khi bị nén tới nhiệt độ 600 triệu độ K, phản ứng tổ hợp hạt nhân cacbon bắt đầu xảy ra để tạo thành các hạt nhân như nêon, natri, magiê...

Đến thời điểm này, tình hình ở lõi sao chứa hạt nhân cacbon giống hệt tình hình lõi sao chứa hạt nhân hêli ở giai đoạn 7: sự giãn nở của lõi chứa cacbon không bù trừ được sự gia tăng áp suất bức xạ từ trong "lò" phản ứng nhiệt hạch đốt cháy cacbon, nên một vụ nổ lớn sẽ xảy ra ở nhiệt độ và áp suất cao hơn nhiều so với vụ nổ do hêli. Các nhà thiên văn nói rằng sao đã thực hiện vụ nổ siêu mới (super–nova). Khi vụ nổ kiểu này diễn ra, độ sáng của sao tăng lên một cách đột ngột đến mức ta có thể nhìn thấy sao siêu mới giữa ban ngày. Công suất của vụ nổ đủ mạnh để phóng hết mọi lớp vật chất của vỏ sao vào không gian, số còn lại chỉ là một phần rất nhỏ của lõi sao bị nén chặt. Như vậy có thể nói vụ nổ sao siêu mới là vụ nổ do Cacbon.

c) Với những sao có khối lượng lớn $\mu_* \geq 8\mu_0$

Khi sao đã dùng hết nhiên liệu hyđrô, heli, ta có cảm giác sao càng nặng, lõi càng bị nén nhiều nên co giảm kích thước càng nhanh khiến mật độ lõi càng đậm đặc, nhưng thực tế lại không diễn ra kịch bản tương tự như với sao có khối lượng trung bình. Vấn đề là ở chỗ lõi sao có khối lượng lớn nên phát ra bức xạ điện từ chứa nhiều photon có năng lượng cao, những photon này khi đi ra ngoài đã làm cho mật độ vật chất lõi sao giảm xuống khiến cho lõi sao loại này không đủ đậm đặc như loại sao trung bình ở cùng giai đoạn.

Tại một số điểm, khi nhiệt độ lõi đạt tới 600 triệu độ, sẽ khởi phát phản ứng tổ hợp hạt nhân cacbon nhưng với tốc độ không cao như loại sao nói ở mục b (bởi mật độ vật chất thấp hơn), nhiệt độ vùng lõi tăng chậm hơn và đạt đến giá trị để xảy ra phản ứng tổ hợp hạt nhân oxy. Khi nhiên liệu oxy cạn kiệt, nhiệt độ sao giảm xuống, kéo theo giảm thể tích làm cho lõi sao đạt tới nhiệt độ cao hơn đủ để đưa hạt nhân của những nguyên tố nặng được sinh ra từ phản ứng tổ hợp cacbon, oxy vào tham gia phản ứng tổ hợp để lần lượt sinh ra nguyên tố nặng hơn như natri, magiê, nhôm, silic, photpho, lưu huỳnh... theo trình tự là mỗi khi cạn kiệt loại chất đốt nào đó, lõi sao sẽ co lại và trở nên nóng hơn, đậm đặc hơn, đủ để "đốt cháy" hạt nhân mới nặng hơn để tạo ra hạt nhân mới còn nặng hơn nữa.

Quá trình "đốt cháy" hạt nhân để tạo ra hạt nhân nặng hơn hạt nhân ban đầu không chỉ được diễn ra ở trong vùng lõi sao nặng này mà còn có thể xảy ra ngay tại các lớp ở phần ngoài bao quanh lõi. Tuy càng xa tâm sao, nhiệt độ càng thấp, nhưng vì hạt nhân nặng lắng xuống gần tâm hơn hạt nhẹ, do đó ta có thể hình dung nhiên liệu và sản phẩm của từng loại phản ứng tổ hợp hạt nhân thay đổi tùy thuộc vị trí của từng lớp cụ thể. Tuy nhiên không thể tạo ra nguyên tố nặng hơn sắt. Phản ứng tổ hợp hạt nhân sắt ($^{56}_{26}Fe$) không thể diễn ra trong lòng sao bởi chúng ta biết rằng hạt nhân sắt có năng lượng liên kết riêng lớn nhất nên phản ứng tổ hợp hạt nhân sắt để thành hạt nhân nguyên tố nặng hơn phải là phản ứng thu năng lượng, trước đó chính phản ứng tổ hợp hạt nhân nhẹ hơn sắt để tạo thành sắt đã tiêu tốn mất nhiều năng lượng của lõi sao, nên không còn đủ để đốt tiếp "nhiên liệu sắt"! Do đó, vào gần cuối của giai đoạn này sao có khối lượng lớn nằm trong miền từ 8 đến 40 lần khối lượng Mặt Trời sẽ có cấu trúc tương tự như hình VIII.6.

Hình VIII.6

Trong đó lõi của sao chủ yếu là sắt, côban, niken, do "đốt cháy" silic, photpho, lưu huỳnh. Kế tiếp là tổng hợp hêli để trở thành cacbon, oxy, nêôn, còn lớp ngoài cùng là do hyđrô bốc cháy để thành

hêli. Ước tính có đến 60% tổng khối lượng ban đầu của sao đã được "đốt cháy", còn lại 40% khối lượng mà phần lớn là hyđrô.

Một khi phản ứng tổ hợp hạt nhân ngừng lại, lõi sao lại giảm kích thước, nhưng lần này lõi chứa nhân sắt sẽ hấp thụ phần lớn nhiệt năng do sự giảm thể tích sao đưa lại, rút cục làm tăng nhanh mức độ co lại của sao. Quá trình giảm thể tích cứ tiếp tục và sẽ đến lúc nhiệt độ trong lõi sao đạt tới hàng tỷ độ khiến cho các hạt nhân va đập rất dữ dội vào nhau, chặn đứng quá trình giảm thể tích của sao và lại xảy ra bùng nổ, cũng mang tên là bùng nổ sao siêu mới đầy ấn tượng như vụ nổ vừa được mô tả ở mục b. Khi bùng nổ xảy ra, độ sáng của sao tăng lên đến hàng tỷ lần, ngang với độ sáng tổng cộng của thiên hà gộp lại!

Bùng nổ sao siêu mới kiểu này đủ năng lượng để tạo nên sóng xung kích mạnh đến mức đập vỡ các hạt nhân thành từng phần nhỏ. Chính những phần này lại kết hợp với các hạt nhân nguyên tử khác để tạo nên các hạt nhân nguyên tố nặng hơn sắt. Ví dụ như Zn, Au, U... Cần chú ý rằng các nguyên tố nặng hơn sắt không hề có sẵn đến mức đầy rẫy trong vũ trụ mà chúng chỉ được góp nhặt lại trong quá trình hình thành nhờ có bùng nổ của sao siêu mới loại II.

Những nguyên tố nặng hơn sắt vừa được sinh ra tiếp tục được sóng xung kích nói trên ném vào vũ trụ. Nếu chúng gặp các đám mây vật chất sao hoặc hành tinh khác thì sẽ trở thành một phần của ngôi sao hoặc hành tinh tương lai này. Chính vì lẽ đó nguyên tố Urani mới có thể có trong các sao. Đầu năm 2001, đài thiên văn Nam bán cầu của cộng đồng châu Âu (European Southern observatory) đặt tại Chile đã phát hiện thiên thể CS31082–001 có chứa nguyên tố Urani. Mở đầu kỷ nguyên thứ 21, nhân loại đã bắt được Urani trong vũ trụ.

Như vậy, những sao mà thành phần của nó chứa nhiều nguyên tố nặng phải được sinh ra sau các vụ nổ sao siêu mới loại II.

10. Giai đoạn thứ 10: Thời kỳ tàn dư của các sao: Sao lùn đen (Black Dwarf), punxa (pulsars), sao nơtron (neutron Star) và hố đen (Black hole)

a) Số phận cuối cùng của sao lùn trắng

Sao lùn trắng do nhiệt độ thấp, kích thước nhỏ nên nó nguội dần một cách chậm chạp, dẫn đến ta sẽ thấy màu sắc của nó biến dần từ sáng trắng, màu vàng, da cam, đỏ và cuối cùng trở thành khối vật chất đậm đặc không màu, ta gọi nó là sao lùn đen (the Black Dwarf).

Sao lùn đen có kích thước bằng Trái Đất chúng ta, nhưng gia tốc trọng trường tại bề mặt sao lùn đen gấp hàng triệu lần gia tốc rơi tự do ở gần Mặt Đất. Nó đơn độc, lặng lẽ chuyển động mãi mãi trong vũ trụ lạnh lẽo bao quanh ta. Nó là tàn dư của sao lùn trắng sau khi đã bị cơ chế gọi là gió sao (stellar winds) tương tự gió Mặt Trời thổi "bay" hết đám vỏ sao bao quanh nó đồng thời ném vào không trung một lượng khá lớn vật chất của sao (xem hình VIII.7).

Hình VIII.7

b) Số phận của sao sau bùng nổ sao siêu mới loại II $1,4\mu_0 \le \mu_* < 3\mu_0$

Khi diễn ra bùng nổ sao siêu mới loại II, lõi sao còn lại bị nén mạnh đến nỗi các electron tự do gắn kết với các proton để trở thành nơtrôn. Nơtron tự do là các hạt rất không bền, nhưng khi bị giam giữ trong lõi sao đậm đặc đó, chúng không có cơ hội để kịp phân rã. Lực nén hấp dẫn tiếp tục nén lõi sao chỉ toàn nơtron đến kích thước hình cầu bán kính chỉ khoảng 10 đến 20km, chứa lượng vật chất với mật độ khoảng 1tỷ tấn trong $1cm^3$. Áp lực khí nơtron suy biến đã giữ cho sao nơtron đạt trạng thái cân bằng. Như vậy, sao nơtron chính là giai đoạn cuối cùng của sao có khối lượng trung bình.

Các nhà thiên văn lý thuyết đã tiên đoán sự tồn tại của sao nơtron ngay từ năm 1934 (xem phần VII.4), nhưng rất tiếc chưa hề quan trắc trực tiếp được nó. Có điều lý thú là: tại những nơi theo tiên đoán lý thuyết phải tồn tại sao nơtron, thì các nhà thiên văn quan trắc lại tìm thấy những đối tượng có tên là punxa (pulsar). Cho đến thời điểm hiện nay các nhà thiên văn đều cho rằng punxa và sao nơtron là hai cách gọi của một đối tượng.

c) Số phận cuối cùng của sao siêu nặng với $\mu_* \ge 8\mu_0$

Sau vụ nổ siêu mới loại II xảy ra ở ngôi sao mà phần lõi của nó rất giàu nguyên tố sắt, lõi của nó bị hấp dẫn của sao nén chặt đến nỗi vận tốc thoát $v_{II} = \sqrt{\frac{2G\mu_*}{R_*}}$ xấp xỉ tốc độ ánh sáng. Tức là sao chuyển

về trạng thái có thể giữ lại mọi vật, mọi thông tin đã và sẽ đi tới nó. Các nhà thiên văn gọi đó là hố đen (Black hole). Vật chất trong hố đen được nén đến trạng thái tới hạn có nhiều đặc tính kỳ lạ, thường được gọi là trạng thái phi thường (Singularity) giống như một điểm hình học có khối lượng rất lớn. Thực ra thuật ngữ hố đen thường để chỉ miền không gian chứa lõi vật chất suy biến của sao. Nó xác định ranh giới giữa những nơi chúng ta có thể nhìn thấy được và những nơi không thể nhìn thấy gì hết. Mặt cầu ranh giới đó gọi là chân trời sự kiện (event horizon).

Về mặt nào đấy ta có thể nói rằng sao siêu nặng khi chết đi không để lại xác có thể "nhìn thấy" được. May thay vì hố đen siêu đặc nên hiệu ứng hấp dẫn do nó gây ra đối với các đối tượng gần nó sẽ giúp các nhà thiên văn dò tìm sự hiện diện của nó. Khảo sát các sao trong Ngân Hà cho thấy số hố đen ít hơn nhiều so với số sao nơtron và càng ít hơn so với số sao lùn nâu, điều này cho thấy sao càng nặng càng hiếm gặp hơn.

II– VỀ SỰ PHÁT HIỆN VÀ CÁC ĐẶC TÍNH VẬT LÝ CỦA CÁC TÀN DƯ SUY BIẾN CỦA SAO

1. Sao lùn trắng (the white Dwarf)

Sau hơn 10 năm quan trắc sao Thiên Lang (sirius) ngôi sao sáng nhất trong bầu trời nam bán cầu, Friedrich Wilhelm Bessel quả quyết rằng Thiên Lang phải là một hệ sao đôi, chúng phải quay quanh nhau (thực ra quay quanh khối tâm chung) với chu kỳ 50 năm. Rất tiếc kính thiên văn thời đó không thể phát hiện được ngôi sao đồng hành với Thiên Lang đã quan sát được. Sáu năm sau khi Bessel qua đời, con trai của nhà chế tạo kính Alvan Clark đã dùng kính do cha mình chế tạo phát hiện bạn đồng hành với Thiên Lang có độ sáng cỡ 1/1000 độ sáng của nó. Ông gọi sao Thiên Lang mới là Thiên Lang B để phân biệt với Thiên Lang A trước đó. Thời điểm ông phát hiện ra Thiên Lang B đúng vào lúc nó cách Thiên Lang A xa nhất vào khoảng 10". Qua phân tích độ thay đổi quỹ đạo, người ta thấy rằng khối lượng của chúng tương ứng là $\mu_A = 2,3\mu_0$, $\mu_B = 1,0\mu_0$. Thoạt đầu người ta cho rằng Thiên Lang B phải là sao màu đỏ, ứng với nhiệt độ bề mặt của nó thấp hơn Mặt Trời. Nhưng vào năm 1915 Walter Adams, nhà thiên văn làm việc ở đài thiên văn Mt. Wilson, nhờ phép trắc phổ, xác định được rằng Thiên Lang B là sao màu xanh có nhiệt độ khoảng 27000K (trong khi Thiên Lang A chỉ đạt 9910K), nó chủ yếu bức

xạ ở vùng tử ngoại. Độ trưng của Thiên Lang B là $L_B = 0,03L_0$, chứng tỏ bán kính Thiên Lang B chỉ là $R_B = 0,008R_\odot$ tuy nhiên mật độ vật chất đạt tới khoảng 3 tấn trong $1cm^3$, gia tốc trọng trường tại bề mặt $g_* = \frac{G\mu_*}{R_*^2} = 4,6.10^6 m/s^2$ tức xấp xỉ nửa triệu lần gia tốc trọng trường ở Trái Đất. Vẻ khác thường về độ trưng và nhiệt độ của Thiên Lang B đã làm cho các nhà thiên văn thời đó cho rằng Thiên Lang B chỉ là vật thể vô vẩn. Tuy nhiên từ năm 1922 Eddington đã có cách nhìn khác. Ông cho rằng nhiệt độ của sao gây ảnh hưởng đến đặc trưng phổ vạch nhiều hơn so với ảnh hưởng tới độ trưng.

Nghiên cứu các sao lùn trắng cho thấy rằng nhiệt độ bề mặt của chúng biến đổi trong phạm vi khá rộng từ 5000K đến 80000K, có nghĩa là tùy nhiệt độ bề mặt, sao lùn trắng có thể có màu đỏ, màu vàng hoặc màu xanh... Tuy nhiên nếu căn cứ vào dấu hiệu phổ vạch, sao lùn trắng thuộc phổ được ký hiệu là D và chia thành 3 phân nhóm chính là DA chiếm 2/3 tổng số các sao thuộc nhóm D. Phân nhóm DA có phổ chỉ chứa 1 đường hấp thụ của hyđrô bị nở rộng do được sinh ra trong môi trường áp suất lớn. 8% sao lùn trắng thuộc nhóm phổ DB, phổ của phân nhóm này không có đường ứng với hyđrô mà chỉ có đường phổ hấp thụ của hêli. Còn lại 14% là phân nhóm DC, phổ của chúng không có vạch hấp thụ. Từ hệ thống phương trình mô tả mô hình cấu trúc sao, người ta đánh giá thấy rằng với sao lùn trắng như Thiên Lang B, áp suất tại tâm của nó gấp 1,5 triệu lần áp suất ở tâm Mặt Trời, nhiệt độ tại tâm có thể lên tới $7,6.10^7K$. Kết quả này gây khó hiểu bởi đáng ra ở trong điều kiện này tại lõi sao lùn trắng có thể có phản ứng nhiệt hạch và sẽ làm cho độ trưng của sao lùn trắng lớn hơn rất nhiều so với kết quả quan trắc được. Thực tế có thể là, lõi bao quanh tâm của sao lùn trắng sẽ chứa nhiều hạt nhân nguyên tố nặng hơn hyđrô, hêli, nó được hình thành sau khi sao đã đẩy lớp vỏ hành tinh ra ngoài, rồi cơ chế gió sao cũng góp phần làm giảm khối lượng của sao còn lại. Tất cả những cơ chế đó đã thiết lập trạng thái mới của sao lùn trắng – trạng thái không ổn định. Sao biến quang loại chu kỳ ngắn ZZ Ceti do Arlo Landolt phát hiện đầu tiên năm 1968 là sao lùn trắng thuộc phân nhóm DA. Do đó ngày nay người ta dùng ký hiệu DAV để chỉ sao biến quang thuộc phân nhóm DA, chúng có nhiệt độ bề mặt khoảng 12000K. Còn loại DBV lần đầu tiên được Don Winget và cộng sự tiên đoán bằng lý thuyết có nhiệt độ ở bề mặt khoảng 27000K. Độ sáng sao lùn trắng

thay đổi liên quan tới mode dao động ngang của bề mặt lõi sao khá rắn chắc nên ít thay đổi dọc theo bán kính, được lan truyền ra bề mặt sao gây ra thay đổi nhiệt độ và độ sáng.

Hiện nay các nhà thiên văn lý thuyết đang xây dựng mô hình nhằm giải mã những điều kỳ lạ diễn ra trong lòng sao lùn trắng. Đồng thời hy vọng sẽ khẳng định cấu trúc từng lớp nguyên tố theo thứ tự: nguyên tố nặng ở gần tâm hơn nguyên tố nhẹ của sao lùn trắng.

Cần lưu ý rằng đại bộ phận sao trong thiên hà chúng ta, cũng như trong vũ trụ đều thuộc sao nhẹ, nên cuối đời đều chuyển về sao lùn trắng. Ở giai đoạn này lõi sao gồm các hạt nhân cacbon, oxy, tuy đậm đặc nhưng chưa đủ để có thể xảy ra phản ứng đốt cháy nhiên liệu cacbon, oxy. Tuy nhiên theo thời gian, sao lùn trắng nguội dần. Một câu hỏi đặt ra là sau bao lâu thì sao lùn trắng tiêu thụ hết năng lượng của nó. Muốn thế ta cần phải biết được tốc độ giảm nhiệt độ của sao lùn trắng.

Để tìm tốc độ đó ta phải xem năng lượng từ lõi sao được truyền ra ngoài chủ yếu bằng cách nào ? Vì môi trường lõi sao lùn trắng là môi trường chứa các electron suy biến, các mức năng lượng thấp đã được lấp đầy. Điều này dẫn tới năng lượng từ trong đi ra ngoài được truyền qua sự dẫn truyền của các electron hơn là do con đường bức xạ, nên môi trường trong sao lùn trắng là môi trường đẳng nhiệt. Nhiệt độ chỉ thay đổi đáng kể ở lớp vỏ ngoài, nơi mà mức độ suy biến của khí electron giảm đáng kể. Tính toán chi tiết theo mô hình này cho ta công thức tính độ trưng sao lùn trắng có dạng.

$$L = cT^{7/2} \qquad \text{(VIII.1)}$$

Với T là nhiệt độ ở tâm lõi, còn c được định nghĩa:

$$c = 7{,}3.10^5 \left(\frac{\mu_*}{\mu_0}\right) \frac{\mu}{Z(1+X)} \qquad \text{(VIII.2)}$$

Sao lùn trắng lạnh dần chủ yếu do bức xạ ra môi trường xung quanh, còn nguồn năng lượng của sao lùn trắng lại chủ yếu là động năng chuyển động nhiệt của các hạt cấu tạo nên lõi sao chứa hạt nhân cacbon, do đó nó sẽ nguội hẳn sau thời gian τ_0 là:

$$\tau_0 = \frac{E_d}{L_*} = \frac{3}{2}\frac{\mu_* k}{Am_H cT^{5/2}} \qquad \text{(VIII.3)}$$

Quá trình nguội dần được diễn ra ở tâm lõi rồi lan truyền ra ngoài. Các nhà thiên văn coi rằng sao lùn trắng với lõi là hạt nhân

cacbon, chúng là những "viên kim cương vũ trụ" đậm đặc với kích thước cỡ Trái Đất vẫn đang trôi dạt trong vũ trụ. Chúng sẽ đóng vai trò như những hoá thạch giúp các nhà thiên văn hiểu được lịch sử ra đời của thiên hà. Từ công trình lý thuyết của Winget và các cộng sự, người ta suy đoán sao trong thiên hà chúng ta bắt đầu được hình thành khoảng $(9,3 \pm 2,0)$ tỷ năm về trước.

2. Sao Nơtron (Neutron stars)

Như ở mục VIII.1.10 đã nói, sao nơtron chính là giai đoạn cuối cùng trên đường tiến hoá của những sao có khối lượng trung bình nằm trong khoảng từ $1,4 \div 4$ lần khối lượng Mặt Trời. Nhiều lúc còn gọi là Punxa. Hai năm sau ngày Jame Chadwich khám phá ra nơtron, Walter Baade và Fritz Zwicky đã tiên đoán sự tồn tại sao nơtron và hai ông cho rằng vụ nổ sao siêu mới đã làm cho sao thường chuyển sang sao nơtron.

Xuất phát từ điều kiện cân bằng của sao nơtron: lực nén hấp dẫn phải cân bằng với áp suất khí nơtron suy biến, ta thu được giới hạn Chandrasekhar, khi đó bán kính giới hạn của sao nơtron có khối lượng μ_* là:

$$R = \frac{(18\pi)^{2/3}}{10} \frac{\hbar^2}{G\mu_*^{1/3}} \left(\frac{1}{m_H}\right)^{8/3} \qquad \text{(VIII.4)}$$

Giả sử $\mu_* = 1,4\mu_\odot$ ta thấy bán kính sao nơtron này chỉ khoảng 10 đến 15 km! Khi đó gia tốc trọng trường ở bề mặt g_* gấp 200 tỷ lần gia tốc trọng trường ở mặt đất.

Nếu chú ý đến vận tốc vũ trụ cấp 2 hay vận tốc thoát v_{II} ta có:

$$v_{II} = \sqrt{\frac{2G\mu_*}{R_*}} = 0,2.10^9 m/s = 0,643 \text{ tốc độ ánh sáng.}$$

Mặt khác nếu để ý đến tỷ số năng lượng hấp dẫn và năng lượng toàn phần của vật m tại bề mặt ta có:

$$\left[G\mu_* m / R_*\right] : mc^2 = G\mu_* / R_* c^2 = 0,207$$

Ta thấy rằng khi xem xét các đặc tính vật lý của sao nơtron ta phải tính đến hiệu ứng tương đối tính. Lý thuyết giải thích sự tạo ra nơtron ${}^1_1P + {}^0_{-1}e \rightarrow {}^1_0n + \nu_e$ trong lõi sao chứa hạt nhân nặng với sự có mặt của electron suy biến cho ta kết quả về thành phần vật chất trong lõi sao nơtron như liệt kê ở bảng VIII.1.

BẢNG VIII.1

Mật độ vật chất (g/cm^3)	Thành phần cấu tạo sao nơtron	Khí suy biến
	Hạt nhân $^{56}_{26}Fe$ + electron tự do phi tương đối	Electron
1.10^6	Electron tự do phi tương đối trở thành tương đối	
	Hạt nhân $^{56}_{26}Fe$ + electron tự do tương đối tính	Electron
1.10^9	Quá trình nơtron hoá (neutronization)	
	Hạt nhân giàu nơtron + electron tự do tương đối tính	Electron
4.10^{11}	Rò rỷ nơtron (neutron drip)	
	Hạt nhân giàu nơtron + nơtron tự do + electron tự do tương đối tính	Electron
$\approx 4.10^{12}$	Áp suất khí nơtron suy biến trở nên đáng kể	
	Hạt nhân giàu nơtron + nơtron siêu chảy tự do + electron tự do tương đối tính	Nơtron
2.10^{14}	Phân rã hạt nhân (nuclei dissolve)	
	Nơtron siêu chảy tự do + proton siêu dẫn + electron tự do tương đối tính	Nơtron
$\approx 4.10^{14}$	Sản sinh các hạt pion (pion production)	
	Nơtron siêu chảy tự do Proton siêu dẫn tự do Electron tự do tương đối tính Các hạt cơ bản khác (các pion)	Nơtron

Năm 1934 J.Robert Oppenheimer và G.M.Volkoff ở Berkeley đã tính toán và vẽ ra mô hình cấu tạo của sao nơtron có khối lượng bằng 1,4 khối lượng Mặt Trời có dạng như hình VIII.8.

Hình VIII.8

Cách làm tương tự như với sao lùn trắng, người ta căn cứ vào sự cân bằng của áp lực hấp dẫn và áp suất khí nơtron suy biến có tính đến lý thuyết tương đối rộng, thấy rằng khối lượng cực đại của sao nơtron là 3 lần khối lượng Mặt Trời. Bán kính sao nơtron chỉ bằng 1/512 lần bán kính sao lùn trắng. Từ định luật bảo toàn mômen động lượng $L = L_0 = I_0\omega_0 = \text{const}$, ta sẽ thấy sao nơtron, vì có kích thước bé so với sao thông thường nên nó sẽ tự quay rất nhanh với vận tốc góc $\omega = \omega_0\left(\frac{R_0}{R_*}\right)^2$. Mặt khác trong môi trường có độ dẫn điện cao, từ trường đóng keo vào vật chất, cảm ứng từ B liên hệ với cảm ứng từ B_0 qua công thức $B = B_0 (R_0/R_*)^2$. Vì vậy từ trường trên đó sẽ rất mạnh. Ví dụ nếu ta xét một ngôi sao nơtron được sinh ra từ ngôi sao ở cuối giai đoạn cạn kiệt nhiên liệu hyđrô, heli, nó có khối lượng gấp đôi khối lượng Mặt Trời và có bán kính tương tự như bán kính Mặt Trời $R_0 = 7.10^7$m, chu kỳ tự quay $T = \frac{2\pi}{\omega} = 25$ ngày, từ trường $B_0 = 10^{-5}$ Tesla. Ta dễ dàng tính được bán kính sao nơtron theo biểu thức (VIII.4), từ đó ta ước tính được giá trị chu kỳ tự quay và cảm ứng B của sao nơtron là 1/580 s và 10^4 Tesla.

Một đặc tính đặc biệt của sao nơtron là ngay khi vừa được hình thành (sau khi vụ nổ sao siêu mới) nhiệt độ của sao nơtron rất cao, ước tính khoảng hàng trăm tỷ độ. Nó nguội dần bằng cách nào? Nghiên cứu bước đầu cho thấy rằng, vào những ngày đầu tiên của đời mình, sao nơtron giảm nhiệt độ nhờ cơ chế phát xạ nơtrino thông qua cơ chế có tên là URCA (lấy theo tên một casino nổi tiếng ở Rio de janeiro đã bị đóng cửa từ năm 1955) theo sơ đồ sau:

$$\begin{aligned} {}^1_0n &\rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e \\ {}^1_1p + {}^0_{-1}e &\rightarrow {}^1_0n + \nu_e \end{aligned} \qquad \text{(VIII.5)}$$

Các hạt và các phản hạt nơtrino được sinh ra, chúng bay ra khỏi sao và mang đi một phần năng lượng đáng kể. Quá trình này sẽ dừng lại khi lõi sao đạt đến trạng thái nơtron suy biến khi đó nhiệt độ sao đạt giá trị 10^9K. Tới lúc này có thêm một cơ chế khác để sao cho phát xạ nơtrino vẫn giữ vai trò chủ đạo làm nguội sao so với cơ chế phát xạ bức xạ điện từ ở bềmặt sao. Phải mất hàng trăm năm sau, nhiệt độ lõi sao nơtron lúc này mới đạt 10^8K, còn tại bề mặt đạt giá trị 10^6K, tới lúc này sao nơtron lạnh dần nhưng bán kính gần như thay đổi rất ít. Ta thử xem lúc đó bề mặt của nó bức xạ chủ yếu ở bước sóng nào. Dễ

dàng thấy rằng, phổ bức xạ có λ_{max} thuộc vùng tia Röentgen. Rõ ràng rất khó để từ Trái Đất ta có thể quan trắc được sao nơtron! May thay sao nơtron còn có phương thức khác để gửi thông tin vào vũ trụ.

Vào một ngày của tháng 7 năm 1967, Jocelyn Bell dưới sự hướng dẫn của Anthony Hewish, trong quá trình thực hiện luận án tiến sĩ đã tình cờ phát hiện ra punxa có chu kỳ 1,3373011s. Đây là punxa đầu tiên được tìm thấy, nó có ký hiệu là CP 1919. Kể từ đó đến nay đã có gần 600 punxa trong thiên hà chúng ta đã được ghi nhận. Bảng VIII.2 cho ta một số trong các punxa đó. Ý nghĩa của CP 1919: CP là viết tắt của Cambridge Pulsar, 1919 là xích kinh của punxa đó, $\alpha = 19^h19^{mi}$. Tương tự là HP là viết tắt của Harvard pulsar còn PSR là ký hiệu của pulsar.

Bảng VIII.2 Bảng kê punxa được tìm thấy đầu tiên nhờ quan sát vùng sóng vô tuyến và một punxa đầu tiên được tìm thấy thông qua quan sát trong vùng khả kiến.

BẢNG VIII.2

Tên punxa	Xích kính α	Xích vĩ δ	Chu kỳ (s)	Khoảng cách đến (pasec)
CP 1919	$19^h19^{min}37^s$	21°47'	1,337301	126
CP 0950	$09^h50^{min}29^s$	08°11'	0,253065	30
CP 1133	$11^h33^{min}36^s$	18°08'	1,187911	50
CP 0834	$08^h34^{min}22^s$	06°07'	1,273764	128
HP 1506	$15^h06^{min}50^s$	55°41'	0,739678	200
CP 0328	$03^h28^{min}52^s$	74°42'	1,292231	60
PSR 2045	$17^h49^{min}49^s$	−28°06'	0,562645	500
PSR 2045	$20^h45^{min}48^s$	−16°28'	1,961663	115
NP 0532	05^h32^{min}		0,0333	

Năm 1969 nhóm các nhà thiên văn làm việc ở đài quan sát Steward của trường đại học tổng hợp Arizona gồm Coche, Disney và Taylor đã chỉ ra rằng có một ngôi sao nhìn thấy được khá rõ tại trung tâm tinh vân con cua (Crab Nebula). Sao đó chính là punxa mang số hiệu NP 0532, nó có chu kỳ xấp xỉ 0,0333s. Tuy độ sáng của nó thay đổi khá mạnh nhưng chu kỳ quá ngắn nên bằng mắt thường hoặc thiết bị thu quang học thông thường không thể ghi nhận được. Ít lâu

sau, các nhà thiên văn ở đài quan sát Lick của trường đại học tổng hợp California, dùng thiết bị quay đặc biệt đã chụp được ảnh của punxa NP 0532 (xem hình VIII.9).

Hình VIII.9

Thay đổi độ phát sáng của NP 0532 đã được R. Lynds, S.P Maran và D. Trumbo ghi lại và công bố trên tạp chí thiên văn vật lý, có dạng như hình VIII.10.

Hình VIII.10

Vệ tinh UHRU mang kính thiên văn Röentgen được phóng lên quỹ đạo vào năm 1971 đã ghi punxa trong vùng phổ Röentgen thuộc đám tinh vân Crab (con cua). Gần đây người ta lại ghi nhận được punxa X–3 thuộc chòm Bán nhân mã cũng là punxa–X.

Nghiên cứu phổ bức xạ của punxa cho thấy đó là phổ liên tục, không hề chứa vạch hấp thụ, cũng như vạch phát xạ. Khác với phổ liên tục do các sao thông thường phát ra, phổ liên tục do punxa, sinh ra có tính phân cực rất cao và có nhiều đặc tính liên quan tới một

dạng bức xạ phi nhiệt mang tên là bức xạ đồng pha (synchrotron radiation). Nếu quan sát chi tiết từng bức xạ cùng chứa trong một xung do punxa phát ra, người ta thấy có hiện tượng sai khác về tốc độ lan truyền trong môi trường. Các nhà thiên văn gọi là sai tốc (velocity dispersion). Hiện tượng này được lý giải rằng: khi có một biến thiên dạng xung của năng lượng E được sinh ra tại một miền không gian chứa vật chất, sẽ đồng thời phát ra một loạt sóng đơn sắc khác nhau thuộc thang sóng điện từ. Sóng nào có bước sóng ngắn sẽ mang năng lượng lớn và sẽ lan truyền nhanh hơn nên nó sẽ đến trước sóng có bước sóng dài hơn. Mức độ sai khác về thời gian để hai sóng đơn sắc cụ thể $\lambda_1 \neq \lambda_2$ đạt đến vị trí đặt máy đo là phụ thuộc vào số electron tự do mà hai sóng đó gặp trên đường đi. Nếu biết trước mật độ electron ta sẽ biết thêm quãng đường mà sóng đã đi qua, tức là ta biết được vị trí của punxa. Kết hợp với phương pháp đo khoảng cách đến tinh vân, dựa vào tốc độ khuếch tán của tinh vân nơi chứa punxa ta có thể hiệu chỉnh phương pháp đo sai tốc để nó trở thành một phương pháp gián tiếp ngoại suy khoảng cách tới punxa.

Một vấn đề tiếp theo là ΔE lấy từ đâu ra để đảm bảo cho các xung lặp lại với chu kỳ ổn định, chỉ một vài giây thậm chí vài phần trăm giây. Có những xung đạt công suất hàng trăm nghìn lần công suất bức xạ Mặt Trời. Đồng thời nếu quan sát nhiều năm liền còn thấy thêm rằng tốc độ phát xung có phần chậm lại.

Tính chất ổn định đến kỳ lạ của tín hiệu do punxa phát ra chỉ có thể được giải thích đấy là do một ngôi sao tự quay và mang trên mình nó nguồn phát ra tín hiệu đó. Chúng ta nhận được xung do punxa gửi tới mỗi khi nguồn tín hiệu đó quét qua máy thu. Muốn xung có tần số 30 lần/s, sao phải quay với $\omega = 30$ vòng/s, rõ ràng vật chất tại bề mặt sao sẽ chịu lực quán tính ly tâm $F_{lt} = m\omega^2 R$.. Như vậy sao thông thường sẽ bị lực này xé nát, chỉ sao nơtron mới đủ đậm đặc để lực hấp dẫn nội tại thắng lực quán tính nói trên. Từ hàng trăm punxa đã quan sát được, ta sẽ tính được các sao nơtron ứng với các punxa đó không thể tự quay với $\omega \geq 2500$ vòng/s. Trong hàng trăm punxa được phát hiện vừa qua, cái quay nhanh nhất chỉ đạt được $\omega = 642$ vòng/s. Đây là chứng cứ khá tốt để khẳng định sao nơtron quay nhanh là nguồn phát ra tín hiệu chứa trong các punxa. Một điều khá lý thú nữa là các punxa quay nhanh nhất thường đi kèm với sao thường. Khi sao nơtron tiến gần sao thường sẽ hút về phía nó một phần vật chất ở

phần ngoài sao thường làm tăng nhanh mômen động lượng, nhưng không thể vượt quá giá trị 2500 vòng/s.

Nếu để ý thêm tính phân cực của bức xạ do punxa phát ra ta có thể dự đoán mô hình đó như sau: sao nơtron chứa các electron tự do, từ trường trong sao nơtron rất lớn, sao nơtron tự quay nhanh kéo theo các electron tự quay nhanh trong từ trường mạnh. Quỹ đạo của electron trong từ trường sao nơtron có dạng như ở hình (VIII.11) và định hướng của từ trường so với trục tự quay của sao như ở hình (VIII.12), rõ ràng theo hiệu ứng headlight: các electron chuyển động trong từ trường với vận tốc so sánh được với vận tốc ánh sáng sẽ phát ra bức xạ điện từ chứa trong hình nón có góc ở đỉnh 2θ với:

$$\theta = \arcsin\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2} \qquad \text{(VIII.6)}$$

Hình VIII.11

Hình VIII.12

Mỗi khi trục hình nón quét qua máy thu, chúng ta sẽ ghi nhận được tín hiệu của punxa. Mô hình này cũng giúp chúng ta ước tính được thời gian sống của sao nơtron. Thật vậy nếu coi năng lượng duy trì tự quay của sao bằng động năng quay ban đầu, trong quá trình bức xạ nó mất dần năng lượng sẽ dẫn đến nó ngừng quay hoặc bị từ trường nén chặt gây ra sự suy sụp do từ trường (magnetic field collapse). Quãng thời gian này vào khoảng 10^6 năm. Nếu gặp phải những sao nơtron, vì lý do nào đó, trong lòng nó diễn ra sự xắp xếp cấu trúc giữa các nơtron tương tự như sự phá vỡ cấu trúc tinh thể của chất kết tinh thông thường, khi đó sẽ dẫn tới thay đổi đột ngột tốc độ tự quay. Hiện tượng này tương tự như diễn biến động đất nhưng ở trong lòng sao nên gọi là tinh chấn (Starquake). Phải chăng mô hình trên đây đã hoàn toàn phù hợp với thực tế quan sát? Chắc chắn là chưa, nhưng dù sao cũng gợi mở cho ta nhiều hướng đi tiếp.

3. Hố đen (Black hole)

a) Định nghĩa và tính chất

Như đã trình bày ở mục VIII.1.10, với sao có khối lượng $\mu_* \geq 8\mu_\odot$, sau giai đoạn vụ nổ sao siêu mới loại II, một lượng lớn vật chất ở phần ngoài đã bị ném vào không gian. Phần lõi còn lại vẫn đủ nặng và cũng bị nén tới nhiệt độ 10^9K nên nguyên tố sắt $^{56}_{26}Fe$ đã được sinh ra trước khi lõi sao sụp đổ do lực hấp dẫn lấn át áp suất khí nơtron suy biến. Lõi sao khi đó trở thành hố đen. Thuật ngữ "black hole" được John A. Wheeler, nhà vật lý lý thuyết người Mỹ, lần đầu tiên đưa ra vào năm 1968 trên cơ sở thuyết tương đối rộng Albert Einstein. Năm 1916 Karl Schwarzschild đã tính toán chi tiết và thấy rằng tùy khối lượng của sao, sự sụp đổ do lực hấp dẫn xảy ra tại thời điểm bán kính sao đạt tới giá trị gọi là bán kính Schwarzschild, nó có giá trị:

$$R_S = {2G\mu_*}/{c^2} \qquad \text{(VIII.7)}$$

Sau thời điểm đó sự sụp đổ vẫn tiếp tục, tuy nhiên vật chất trong hình cầu bán kính R_S đã đạt tới trạng thái mà ta không hề nhận được bất kỳ thông tin nào từ trong hình cầu đó. Ta hãy tưởng tượng một hạt ở ngoài hình cầu bán kính R_S, nó có thể phát ra bức xạ, nhưng khi tới mặt cầu R_S, chẳng có bức xạ nào có thể thoát khỏi lực hút của hố đen. Hiểu theo nghĩa này ta sẽ thấy rằng hố đen có thể là phần còn lại của những sao rất nặng khi chúng "qua đời"; cũng có thể chúng được sinh ra do quá trình một sao nơtron cặp đôi với một sao khác, đặc biệt là những sao kềnh, sao nơtron nhờ có lực hấp dẫn lớn đã bắt giữ vật chất của sao đồng hành dẫn tới trọng lượng sao quá sức chống đỡ của áp lực do nơtron suy biến gây ra. Quá trình đó được diễn tả trên hình (VIII.113).

Hình VIII.13

Ngoài ra hố đen cũng có thể được sinh ra ngay từ thủa sơ khai của vũ trụ tại những miền đậm đặc khác thường chứa lượng vật chất trong phạm vi từ 3 lần đến 100 nghìn lần khối lượng Mặt Trời.

Tóm lại hố đen được hiểu là miền không gian chứa vật chất mà lượng vật chất đó phải nằm hoàn toàn trong hình cầu bán kính R_S thoả mãn công thức (VIII.7).

Một hố đen có thể được đặc trưng bởi ba đại lượng: khối lượng μ_*, mômen động lượng $\vec{L}$ và điện tích Q. Nếu hố đen chứa khối lượng μ_* tự quay thì giá trị L tùy thuộc L_0 ban đầu nhưng không thể lớn hơn

$$L_{max} = \frac{G\mu_*}{c} \qquad \text{(VIII.8)}$$

Theo lý thuyết tương đối rộng cổ điển, hố đen tồn tại vĩnh viễn (vì nó chỉ nhận mọi bức xạ, mọi "thông tin" gửi tới và giam giữ chúng trong hình cầu bán kính R_S), không hề bức xạ nên không tiêu tốn năng lượng. Nhưng liệu một khi hố đen "dung nạp" thêm vật thể khác vào bản thân nó thì R_S có tăng lên không? Nếu theo (VIII.6) ta thấy rằng μ_* tăng thì R_S tăng. Năm 1974 Hawking nhà vật lý lý thuyết người Anh đã kết hợp lý thuyết tương đối rộng và lý thuyết lượng tử để giải bài toán về hố đen. Kết quả ông phát hiện ra rằng hố đen phải bay hơi dù rất chậm thông qua cơ chế gọi là bức xạ Hawking (Hawking radiation) làm giảm khối lượng μ_*. Cơ chế bức xạ Hawking có thể diễn tả qua mô hình ở hình VIII.14.

Hình VIII.14

Giả sử ở ngoài chân trời sự kiện, xuất hiện một sự kiện sinh cặp–tạo ra một cặp hạt và phản hạt của nó. Thông thường cặp hạt này sẽ

tái kết hợp và mất đi, nhưng nếu một trong hai hạt vừa được sinh ra rơi vào chân trời sự kiện, còn hạt kia lại bay đi. Có thể lực hấp dẫn của hố đen đã cản trở sự bay đi này. Ta chú ý rằng thế năng hấp dẫn của hố đen đã sinh ra các cặp hạt, khi một trong chúng bay đi sẽ mang theo năng lượng và vì thế khối lượng hố đen giảm dần với tốc độ tỷ lệ nghịch với μ_*^2. Khối lượng càng giảm tốc độ bay hơi càng tăng. Hawking đã tính toán thấy rằng nếu hố đen có khối lượng μ_* thì thời gian để bay hơi hết khối lượng này là:

$$t_{bh} = \left(\frac{\mu_*}{\mu_0}\right)^3 = 10^{66} \text{ năm} \qquad \text{(VIII.9)}$$

Hố đen kết thúc cuộc đời của nó bằng vụ nổ của các loại hạt cơ bản, để lại miền trống rỗng của không thời gian phẳng. Tuy nhiên gần đây Robert Laughlin, một giáo sư vật lý lý thuyết ở đại học Stanford, giải Nobel Vật lý năm 1998 về hiệu ứng Hall lượng tử phân đoạn, lại nói rằng "ông chán ngấy với các hố đen và thuyết siêu dây". Ông nghi ngờ về tính xác thực của cơ chế bức xạ Hawking.

b) Bằng chứng gián tiếp về sự có mặt hố đen

Như đã nói, nếu hố đen tồn tại thì sẽ là hình cầu bán kính $R = R_S$ vào khoảng vài chục kilômét nhưng lại không hề trực tiếp gửi bất kì thông tin nào ra ngoài. Vậy các nhà thiên văn chỉ hy vọng "tìm thấy" hố đen thông qua hiệu ứng hấp dẫn do nó gây ra đối với vật đi lại gần nó. Đặc biệt khi hố đen đi cạnh sao kềnh tạo thành hệ sao đôi (xem hình VIII.13), hố đen sẽ kéo vật chất ở lớp vỏ ngoài của sao kềnh về phía mình. Dòng khí vật chất này lao nhanh về hố đen dưới tác dụng đồng thời lực hấp dẫn, lực điện từ ở không gian gần hố đen, cũng như chuyển động quay vốn có của khí, sẽ tạo thành đĩa vật chất chứa khí quanh hố đen. Dòng khí này chuyển động theo quỹ đạo xoắn ốc để lao về phía chân trời sự kiện. Khí bị dồn nén và nóng lên tới nhiệt độ hàng triệu độ nên có khả năng bức xạ nhiệt và bức xạ phi nhiệt mạnh ở vùng sóng điện từ có bước sóng nằm trong miền Röntgen. Sao nơtron đi kèm sao kềnh đỏ cũng có thể tạo ra đĩa vật chất bức xạ chủ yếu ở miền bức xạ Röntgen, tuy nhiên khối lượng sao nơtron không thể vượt quá 3 lần khối lượng Mặt Trời. Với phương pháp gián tiếp này, sao Cygnus X–1 ở gần sao η khá sáng trong chòm sao Thiên Nga là hố đen được phát hiện đầu trên, LMC X–3 trong đám mây lớn Magienlăng (Large Magellanic Cloud) được xem hốc đen thứ hai. Tiếp

theo các nhà thiên văn tập trung phân tích số liệu quan sát hệ sao đôi ở vùng bức xạ Röentgen nằm ở biên giới chòm Tráng Sĩ (Orion) và chòm Kỳ Lân (Monoceros) có mã số A 0620–00 thấy rằng ngôi sao nặng hơn của hệ sao đôi này có khối lượng: $\mu_* \geq (3,82 \pm 0,24)\mu_0$ có thể cũng là một hố đen.

Từ năm 1962, Riccardo Giacconi, người đoạt giải Nobel vật lý năm 2002, đã chỉ đạo xây dựng kính thiên văn Röentgen, hy vọng sẽ tìm thấy những nơi có thể chứa hố đen. Năm 1999, NASA phóng con tàu vũ trụ mang theo đài quan sát thiên văn ở vùng sóng Röentgen mang tên Chandra X–ray observatory, gây ra cuộc cách mạng thực sự để nghiên cứu các hố đen chứa khối lượng siêu lớn có thể từ hàng triệu đến hàng tỷ lần khối lượng Mặt Trời. Hố đen kiểu này có thể được hình thành từ thời kỳ sơ khai của vũ trụ, dần với thời gian, nó bắt giữ thêm khối lượng của các thiên thể khác mỗi khi đến gần nó và tạo thành cái gọi là nhân thiên hà hoạt động AGN (Active Galaxy Nuclei) hay chuẩn sao (Quasi–Stellar Objects) QSO. Nhân thiên hà M82 rất có thể là ứng cử viên sáng giá cho hố đen kiểu này (xem minh họa của John Biretta đăng trên Hubble 2006 Sience Year in Review trang 115).

BÀI TẬP CHƯƠNG VIII

8.1. Hãy phân biệt bùng nổ sao mới, sao siêu mới loại I, sao siêu mới loại II.

8.2. Hãy nêu ngắn gọn những đặc tính vật lý nổi bật của sao lùn trắng, sao nơtron.

8.3. Những đặc điểm nào đã làm cho các nhà thiên văn nghiêng về xu hướng coi punxa có nhiều khả năng liên quan tới sao nơtron tự quay nhanh.

8.4. Coi rằng ở thời kỳ mới hình thành, sao trẻ (tiền sao) chưa đủ độ đậm đặc, nhiệt độ và áp suất tại tâm chưa đủ cao để có phản ứng nhiệt hạch. Khi đó năng lượng hấp dẫn "duy trì" "cuộc sống" của trên sao. Hãy:

a) Đánh giá năng lượng hấp dẫn đã tiêu tốn kể từ khi sao mới hình thành ($R_0 \to \infty$) cho đến giai đoạn ổn định R hiện nay. Biết rằng $E_{hd} = -\frac{1}{2}U_{hd}$.

b) Áp dụng cho Mặt Trời với giả thiết rằng nó có khối lượng $\mu = 2.10^{30}$kg; độ trưng hiện nay $L_0 = 4.10^{26}$W. Coi tốc độ mất mát năng lượng không đổi, hãy ước tính tuổi của Mặt Trời. Có nhận xét gì từ kết quả này.

8.5. Từ điều kiện cân bằng thuỷ tĩnh của khí trong tiền sao, coi khí đó tuân theo định luật khí lý tưởng. Hãy tìm bán kính tới hạn của tiền sao có khối lượng M, mật độ khí ρ và nhiệt độ T.

8.6. Coi rằng các electron trong sao lùn trắng có cùng xung lượng p, nên áp suất do chúng gây ra theo 1 phương có giá trị $p \approx \frac{1}{3} n_e vp$.

Chúng tuân theo nguyên lý bất định và nguyên lý loại trừ Pauli và coi $\Delta x \approx n_e^{1/3}$, $p \approx \Delta p$. Hãy đánh giá áp suất do khí electron suy biến tương đối tính gây ra.

8.7. Từ biểu thức chính xác của khí electron suy biến:

$$P = \frac{(3\pi^2)^{2/3}}{5} \cdot \frac{t^2}{m_e} \left[\left(\frac{Z}{A} \right) \cdot \frac{\rho}{M_H} \right]^{5/3}$$

Hãy tìm biểu thức biểu diễn bán kính sao lùn trắng theo khối lượng.

PHẦN THỨ BA

THIÊN HÀ VÀ VŨ TRỤ

Chương IX

THIÊN HÀ CỦA CHÚNG TA – NGÂN HÀ

Những đêm trời không mây, nhìn lên bầu trời ta thấy dải Ngân Hà nằm dọc theo một đường tròn lớn nghiêng với xích đạo từ một góc khoảng 62°. Các cực của vòng tròn lớn này (có độ xích vĩ là +28° và –28°, xích kinh là 191°) được gọi là cực Bắc và cực Nam của Thiên Hà. Nhà triết học cổ Hy Lạp Democritus (khoảng 460 – 370 trước Công nguyên) đã cho rằng dải Ngân Hà là một tập hợp vô số các sao. Năm 1610 Galileo, người đầu tiên dùng kính viễn vọng quan sát thiên văn, hướng ống kính lên các vệt sáng trên dải Ngân Hà thì thấy các vệt sáng gồm vô số các sao.

Ở nước ta (nửa địa cầu bắc) vào đầu đêm mùa hè sẽ thấy dải Ngân Hà in hình lên thiên cầu theo hướng Đông Bắc – Tây Nam, qua các chòm sao Thiên Vương, Thiên Hậu, Thiên Nga, Nhân Mã, Con Vịt. Nếu quan sát vào sau nửa đêm mùa hè (hay vào đầu đêm mùa đông) thì ta sẽ thấy nửa kia của Ngân Hà đi dọc theo các chòm sao Anh Tiên, Con Trâu, Tráng Sĩ, Đại Khuyển.

Cuối thế kỷ XVIII Herschel W đã tính mật độ các sao theo các hướng của bầu trời thì thấy rằng, mật độ sao tăng nhanh khi đi vào khu vực Ngân Hà và giảm rất nhanh khi đi về hai cực của Thiên Hà.

Tất cả các sao mà bằng mắt thường chúng ta nhìn thấy trên bầu trời đều thuộc một hệ sao là Ngân Hà gồm khoảng hàng trăm tỉ ngôi sao, trong đó có Mặt Trời của chúng ta nên Ngân Hà được gọi là thiên hà của chúng ta. Thiên hà được tạo thành từ các sao và vật chất giữa các sao. Để phân biệt với các thiên hà khác, Thiên Hà (viết hoa) là Thiên Hà của chúng ta.

I– HÌNH DẠNG, KÍCH THƯỚC CỦA THIÊN HÀ – NGÂN HÀ

Chúng ta sống trên Trái Đất, một hành tinh của hệ Mặt Trời nằm trong Thiên Hà, nên không thể nhìn thấy Thiên Hà, giống như một người đứng trong một khu rừng không thể nhìn thấy hình dạng của

khu rừng. Nhưng qua nhiều thế kỷ con người quan sát vũ trụ qua cửa sổ ánh sáng nhìn thấy (quang học) và đặc biệt từ nửa sau thế kỷ XX qua cửa sổ sóng vô tuyến đã cung cấp cho chúng ta nhiều thông tin về cấu trúc và chuyển động của Thiên Hà – Ngân Hà.

1. Hình dạng Thiên Hà của chúng ta

Hình IX.1. *Hình ảnh Thiên Hà – Ngân Hà nhìn từ Trái Đất*

Hình IX.2. *Mô hình Thiên Hà – Ngân Hà nhìn ngang*

Hình IX.3. *Hình xoắn ốc*

Thiên Hà của chúng ta có dạng hình đĩa có đường kính khoảng 100.000 năm ánh sáng (hay 30 kiloparsec). Vùng tâm Thiên Hà phình ra như một hình cầu nằm trên hướng chòm sao Nhân Mã, có độ xích kinh $\alpha = 265^\circ$ và xích vĩ $\delta = -29^\circ$.

Thiên Hà quay quanh tâm, vận tốc góc càng xa tâm càng giảm nên theo hướng vuông góc với mặt phẳng thiên hà sẽ thấy Thiên Hà của chúng ta có dạng hình xoắn ốc (hình IX–3) có các cánh tay xoắn ốc mà Mặt Trời ở trên một cánh tay về phía chòm Tráng Sĩ, cách tâm thiên hà 2/3 bán kính của nó.

Qua kính thiên văn hình ảnh quang học của các thiên hà hình xoắn ốc thường có những cánh tay xoắn ốc sáng chói, chứa các sao sáng, còn Thiên Hà của chúng ta, ánh sáng từ các vùng có nhiều sao sáng ở xa Mặt Trời lại bị vật chất đen dày đặc trong mặt phẳng thiên hà hấp thụ. Các quan sát bức xạ vô tuyến trong vũ trụ tỏ ra rất có ích cho việc phát hiện cấu trúc xoắn ốc của thiên hà.

Trong vũ trụ hiđrô trung hoà có ở khắp nơi, phát ra sóng vô tuyến có bước sóng 21cm. Dựa vào hiệu ứng Doppler, gọi v_r là vận tốc tia (theo phương tia nhìn, đi tới hoặc đi ra xa người quan sát) λ là bước sóng khi nguồn đứng yên, $\Delta\lambda$ là độ dịch chuyển về phía đỏ khi đi ra xa, hoặc độ dịch chuyển về phía tím khi đi tới người quan sát.

Ta có hệ thức $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v_r}{C}$. Trong đó c là vận tốc ánh sáng từ năm 1957 nhờ quan sát vô tuyến ở bước sóng 21cm, người ta biết được vận tốc v_r của các cánh tay của Thiên Hà, kết hợp với chuyển động riêng của hệ Mặt Trời từ đó biết được đường cong quay của Thiên Hà.

2. Vùng trung tâm Thiên Hà

Vùng này được gọi là vùng lồi của thiên hà có bán kính khoảng 1 kiloparsec. Vùng trung tâm xa Mặt Trời, giữa các sao lại có nhiều bụi và khí nên qua kính thiên văn quang học nhìn vùng trung tâm rất mờ, nhưng nhờ quan sát ở các bước sóng dài, như vô tuyến và hồng ngoại cho phép các nhà thiên văn nghiên cứu sâu vào vùng trung tâm thiên hà.

Ngay ở trung tâm thiên hà có một nguồn sáng phát xạ hồng ngoại và sóng vô tuyến có tên Sagittarius A^* (theo hướng chòm sao Nhân Mã)

có mật độ rất lớn, với kích thước cỡ quỹ đạo Hoả tinh (khoảng 450 triệu kilômét). Nguồn này phát ra năng lượng tương đương độ trưng của khoảng 20 triệu ngôi sao như Mặt Trời và phóng ra một luồng gió mạnh (gồm các hạt tích điện như electron, proton, hạt nhân nguyên tử nhẹ). Căn cứ vào các kết quả quan sát, các nhà thiên văn cho rằng, nguồn này trùng với nhân thiên hà và nó có thể được cung cấp năng lượng từ một lỗ đen có khối lượng bằng hàng trăm và có thể bằng một triệu lần khối lượng Mặt Trời. Còn có các sợi khí tạo thành những cung đi ra xa mặt phẳng thiên hà chứng tỏ đã từng có một số vụ nổ hạt nhân phóng vật chất ra, vật chất này đang rơi trở lại mặt phẳng Thiên Hà.

3. Quầng thiên hà

Các sao già tích tụ thành những đám sao dày đặc được gọi là đám sao hình cầu (quần tinh cầu), các đám sao này phân bố theo một quầng xung quanh đĩa thiên hà. Khí và bụi trong quầng thưa thớt hơn trong đĩa. Đường kính quầng thiên hà vào khoảng 40 kilôparsec.

Những nghiên cứu gần đây về chuyển động quay của các thiên hà đã gợi ra ý nghĩ rằng, quầng thiên hà có chứa những loại vật chất không thể phát hiện bằng bất cứ một loại sóng nào, bên cạnh vật chất đã được phát hiện bằng ánh sáng nhìn thấy, hồng ngoại và vô tuyến hay các vùng khác của phổ điện từ, có thể còn một khối lượng vật chất "không nhìn thấy" ít nhất có khối lượng gấp 5 lần tổng khối lượng phát xạ mà các nhà thiên văn đã phát hiện được trong toàn bộ Thiên Hà.

Các nhà thiên văn và các nhà khoa học thuộc lĩnh vực vật lý hạt sơ cấp đang tìm cách giải thích bản chất của khối lượng "không nhìn thấy" này.

II– CHUYỂN ĐỘNG CỦA CÁC SAO TRONG THIÊN HÀ

Từ cổ đại đến thế kỷ XVII, có kính thiên văn, các sao trên bầu trời được xem như nằm cố định trên thiên cầu, quan sát thiên văn chủ yếu nghiên cứu sự chuyển động của Mặt Trời Mặt Trăng các hành tinh để làm lịch, xác định vị trí trên mặt đất và trên biển, xác định thời gian... Vì vậy các sao được tập hợp thành các danh mục (Catalog) trong đó có ghi các số liệu như toạ độ trên thiên cầu, độ sáng...

Danh mục cổ nhất còn giữ được cho tới ngày nay là danh mục sao Hipparchus được lập năm 127 trước Công nguyên, trong đó có 1022 ngôi sao, gồm 15 sao cấp I, 45 sao cấp II, 208 sao cấp III, 474 sao cấp IV, 217 sao cấp V và mấy chục sao cấp VI.

Đến thế kỷ XVIII người ta phát hiện sự thay đổi vị trí của sao Thiên Lang tuy rất bé. Rõ ràng trong vũ trụ không có đối tượng nào nằm yên. Vì các sao ở quá xa nên người ta chỉ có thể phát hiện được sự chuyển động của chúng nhờ quan trắc lâu dài.

1. Chuyển động riêng

Mỗi ngôi sao có chuyển động riêng được quy ước là cung dịch chuyển hàng năm của nó trên thiên cầu, được ký hiệu là μ (tính bằng đơn vị giây cung) thường vào cỡ một phần nhỏ của giây. Do chuyển động riêng mà xích kinh và xích vĩ của sao thay đổi, nên khi xác định toạ độ chính xác của một ngôi sao phải tính đến chuyển động riêng, cung dịch hàng năm μ được phân thành hai thành phần μ_α và μ_δ, trong danh mục các sao hay lịch thiên văn dùng trong thiên văn đo lường đều cho các giá trị μ_α và μ_δ. Đến nay người ta đã xác định được chuyển động riêng của hơn 300000 sao. Sao có chuyển động riêng lớn nhất là sao Barnard có chuyển động riêng $\mu = 10''34$, cách chúng ta 6 năm ánh sáng, dựa vào sự dịch chuyển của các vạch quang phổ về phía tím của ngôi sao này người ta biết rằng nó đang chuyển động về phía chúng ta với vận tốc 110km/s.

Cần biết rằng việc đo chuyển động riêng của các sao như trên cũng chưa biết được chuyển động thực của các sao trong thiên hà, bởi vì Mặt Trời (được lấy làm gốc hệ quy chiếu) cũng chuyển động quanh tâm thiên hà của chúng ta. Tuy chuyển động riêng của các sao rất bé nhưng sau nhiều ngàn năm hình dạng của các chòm sao cũng thay đổi. Trên hình IX–4 là chòm sao Đại Hùng (Gấu lớn).

Hình IX.4. Chòm Đại Hùng
a) 50000 năm trước; b) Hiện nay;
c) Sau 50000 năm.

2. Các sao quay quanh tâm thiên hà

Khi chưa có các thiết bị thiên văn vô tuyến, dựa vào chuyển động của các sao trong không gian, người ta đã cho rằng các sao trong Thiên Hà – Ngân Hà đều quay quanh tâm thiên hà. Vận tốc của các sao từ Mặt Trời đến tâm thiên hà gần như không đổi chứng tỏ phần bên trong của Thiên Hà quay quanh tâm gần giống như một vật rắn quay quanh trục còn phần ngoài có quay chậm hơn nên Thiên Hà của chúng ta có dạng hình xoắn ốc mà các quan trắc thiên văn vô tuyến đã xác nhận.

III– CÁC TINH VÂN

Vào đầu thế kỷ XX, khái niệm tinh vân được hiểu là những đám mây sáng nhìn thấy trong vũ trụ. Vào đầu thập kỷ 30 của thế kỷ XX Hubble nghiên cứu tinh vân Tiên Nữ mới thấy rằng đây là một thiên hà láng giềng giống như Thiên Hà – Ngân Hà. Cách chúng ta 2 triệu năm ánh sáng. Ở đây chỉ đề cập đến các tinh vân trong Thiên Hà – Ngân Hà. Đó là những đám mây khí bị ion hoá sáng trong đó có các ngôi sao mới hình thành và nóng. Có những tinh vân là tàn dư của các sao đã hết nhiên liệu hiđrô cho phản ứng nhiệt hạt nhân. Nghiên cứu tinh vân để hiểu rõ sự tiến hoá của các sao, sự trao đổi vật chất giữa các sao và môi trường xung quanh.

1. Tinh vân phản xạ

Khí và bụi trong thiên hà có thể tích tụ để tạo thành những đám mây giữa các sao, thành phần chủ yếu là hiđrô ở dạng phân tử, có cả các phân tử đa nguyên tử nhưng số lượng ít hơn nhiều.

Hình IX.5. Các tinh vân phản xạ quanh các sao sáng nhất của quần tinh Tua Rua chòm Kim Ngưu

Những đám mây phân tử này là những đám mây bụi lạnh, xuất hiện dưới dạng tinh vân tối toả rộng trên nền của dải Ngân Hà. Các tinh vân này được chiếu sáng bởi các sao ở xung quanh, chúng phản chiếu ánh sáng và làm tán xạ ánh sáng của các sao. Do ánh sáng màu xanh tán xạ mạnh hơn màu đỏ nên tinh vân hiện ra như một tinh vân phản xạ màu xanh.

2. Các vùng khí bị ion hoá

Nếu một đám mây giữa các sao chứa một nhóm sao nóng loại O và B bức xạ mạnh ở miền tử ngoại thì khí của nó bị ion hoá. Thành phần chính của khí loảng giữa các sao là hiđrô nguyên tử. Quang phổ của hydrô ion hoá gồm một chuỗi các vạch, đặc biệt là vạch H_α có $\lambda = 0{,}6563\mu m$ được quan sát dưới dạng vạch màu đỏ. Các photon gây ra ion hoá giữa các sao kích thích các nguyên tử hiđrô đến trạng thái ion hoá rồi lại tái hợp với electron thành nguyên tử trung hoà nhưng ở mức năng lượng kích thích nên lại phát xạ các photon, đặc biệt là vạch H_α tương ứng. Các vùng hiđrô ion hoá được quan sát theo vạch phổ này xuất hiện như những tinh vân khí sáng đẹp như tinh vân Eagle (hình IX.6a). Cũng trong chòm sao Tráng Sĩ có một đám mây đen nằm cạnh một vùng khí phát quang đó là tinh vân hình Đầu Ngựa (hình IX.6b).

Hình IX.6a

Hình IX.6b

Các vùng khí ion cũng phát xạ các vạch hồng ngoại và vô tuyến. Đối với các tinh vân ở quá xa, vạch H_α bị hấp thụ nên dùng các vạch

hồng ngoại và vô tuyến lại rất hữu ích. Các vùng hiđrô ion hoá còn bức xạ nhiệt liên tục do electron tự do tương tác với ion. Các hạt bụi nóng tích tụ trong khí bị ion hoá do hấp thụ bức xạ của các sao, nên cũng phát bức xạ liên tục. Tinh vân Tráng Sĩ là tinh vân khí sáng ở gần ta nhất, nó bao gồm một số nguồn hồng ngoại, là các sao đang ở giai đoạn hình thành. Các sao rất trẻ này còn là phôi sao, là nhân của các đám mây dày đặc giữa các sao, do co nén bởi lực hấp dẫn của bản thân. Các sao trẻ này được bao bọc một cái bọng bụi chưa đủ nóng để phát xạ ánh sáng nhìn thấy mà phát xạ mạnh các bước sóng hồng ngoại.

3. Tinh vân hành tinh

Một ngôi sao như Mặt Trời tiến hoá, nó phóng bụi và khí vào môi trường giữa các sao để tạo thành vỏ bao quanh ngôi sao. Ở giai đoạn cuối cùng, sau khi đã cạn kiệt nhiên liệu hạt nhân và trước khi kết liễu, ngôi sao đang hấp hối ion hoá vỏ của nó. Vỏ này trở thành một tinh vân sáng, được gọi là tinh vân hành tinh. Đôi khi có dạng một cái vòng (hình IX–7) vì nó giống như một vành đai các hành tinh quanh một ngôi sao.

Hình IX.7. Tinh vân hành tinh

4. Tàn dư của các vụ nổ sao siêu mới

Một số tinh vân là tàn dư của vụ nổ Sao Siêu mới. Vào cuối đời các sao có khối lượng lớn trải qua một vụ nổ cực mạnh được gọi là vụ nổ Sao Siêu mới. Khí phóng ra bị ion hoá bởi ngôi sao đang bùng nổ và bởi sóng xung kích. Vật chất được phóng ra gồm bụi và khí quyện với khí giữa các sao tạo thành một tinh vân sáng. Điển hình là tinh vân Con Cua – tàn dư của vụ nổ Sao Siêu mới được quan sát năm 1054. Nhìn qua kính thiên văn có thể thấy các sợi khí phóng ra với tốc độ hàng ngàn km/s (hình IX.8).

Hình IX.8. Tinh vân Con Cua

Bụi khí sáng của tàn dư vụ nổ Sao Siêu mới là nguồn phát xạ mạnh các bước sóng vô tuyến. Phần trung tâm vẫn hoạt động cực mạnh như một punxa. Nó là một hố chứa các electron tương đối tính bị bẫy bởi từ trường xung quanh, gây ra bức xạ phi nhiệt mạnh ở các bước sóng ánh sáng nhìn thấy và vô tuyến.

Khảo sát tàn dư của các vụ nổ Sao Siêu mới trong Thiên Hà – Ngân Hà, người ta ước tính khoảng một trăm năm mới có một vụ nổ Sao Siêu mới. Trong thiên niên kỉ thứ hai, các nhà thiên văn chỉ quan sát được 4 vụ nổ Sao Siêu mới trong vùng sóng ánh sáng nhìn thấy có thể do bụi giữa các sao đã che khuất một số hiện tượng đã xảy ra rất xa chúng ta trong dải Ngân Hà.

Các tia X được phát xạ từ tàn dư của vụ nổ Sao Siêu mới không thể tới mặt đất vì khí quyển hấp thụ. Nhờ các thiết bị đặt trên vệ tinh nhân tạo và trạm vũ trụ người ta phát hiện được tia X. Tinh vân Con Cua nơi có chứa một punxa có bức xạ tia X, có thể các electron ở đây bị gia tốc liên tục tới tốc độ tương đối tính nên đã phát xạ tia X. Tinh vân Con Cua cũng phát xạ tia gamma đòi hỏi electron có năng lượng cao hơn nhiều so với tia X. Song việc gia tốc cho các electron có năng lượng cao như thế còn chưa được lý giải.

IV– TIA VŨ TRỤ VÀ TỪ TRƯỜNG THIÊN HÀ

Trong môi trường giữa các sao ngoài bụi và khí còn có các hạt như photon và các hạt vật chất đi qua với vận tốc rất lớn, đó là tia vũ trụ.

Tia vũ trụ gồm các hạt có điện tích nên quỹ đạo có liên quan đến từ trường thiên hà.

1. Quan sát tia vũ trụ

Trước khi nói đến vai trò của các tia vũ trụ trong thiên hà, chúng ta cần khảo sát các đặc tính của chúng.

Tia vũ trụ không phải là tia mà là những hạt tích điện có năng lượng khá cao. Các hạt này có thể là hạt nhân nguyên tử mà các electron đã đi ra xa, các electron hay pozitron. Chúng được gọi là tia vũ trụ khi chúng chuyển động với vận tốc gần vận tốc ánh sáng. Nói chung chúng có động năng lớn lên tới 10^{20}eV. Mặt Trời của chúng ta chỉ phóng ra những hạt năng lượng thấp hơn nhiều (cỡ mười đến hàng trăm MeV). Do hoạt động Mặt Trời, nó cũng thường phóng ra các tia vũ trụ đi tới miền ngoài của hệ Mặt Trời. Từ trường giữa các hành tinh và gió Mặt Trời làm biến dạng quỹ đạo của các hạt có năng lượng bé hơn 10^9eV. Các hạt do Mặt Trời phóng ra làm lu mờ tính chất của tia vũ trụ từ trong thiên hà tới mà có năng lượng thấp. Mặc dù chúng ta biết rằng số hạt tăng nhanh với năng lượng giảm. Nhiều số liệu quan sát tia vũ trụ từ ngoài hệ Mặt Trời tới là những hạt có năng lượng trên 10^9eV. Còn những hạt năng lượng cao đến 10^{20}eV chỉ quan sát được những hạt đơn độc nhưng thường rất hiếm.

BẢNG 9.1 THÀNH PHẦN CÁC NGUYÊN TỐ TRONG TIA VŨ TRỤ

Nhóm hạt	Điện tích (e)	Khối lượng nguyên tử trung bình	Cường độ số hạt/m^2.s
Proton	1	1	1300
Hạt alpha (^{3}He, ^{4}He)	2	4	94
Hạt nhân nhẹ (Li, Be, B)	3 – 5	10	2
Hạt nhân trung bình (C, N, O, F)	6 – 9	14	6,7
Hạt nhân nặng	≥ 10	31	2
Hạt nhân rất nặng	≥ 20	51	0,5

Nghiên cứu thành phần của tia vũ trụ có quan hệ với khí quyển và cấu tạo của các sao cũng như môi trường giữa các sao.

Các số liệu quan sát được đã cho biết mật độ trung bình của vật chất giữa các sao vào khoảng 10^5 nguyên tử/m^3 và thời gian sống trung bình của các tia vũ trụ từ hàng triệu đến hàng chục triệu năm.

Các tia vũ trụ từ hướng nào đi tới? Các quan trắc cho thấy, tia vũ trụ từ mọi hướng đi tới đều như nhau, nghĩa là đẳng hướng. Như vậy, nguồn tia vũ trụ có thể phân bố ngẫu nhiên trong không gian, nhưng từ trường của thiên hà làm lệch đường đi của tia vũ trụ nên chúng không thể đi theo đường thẳng. Thực tế các hạt năng lượng cao này đi dọc đường sức từ trường theo một đường xoắn ốc mà kích thước của nó được xác định bởi cường độ từ trường và năng lượng của hạt.

2. Nguồn và gia tốc của các tia vũ trụ

Nếu tia vũ trụ có nguồn phát ra từ trong hệ Mặt Trời mà lại có năng lượng lớn thì sẽ xác định chính xác vị trí của nguồn, mặc dù thành phần electron chỉ vào khoảng 1% trong toàn bộ các hạt trong tia vũ trụ. Tia vũ trụ là electron được quan sát trực tiếp các electron này cũng thuộc tia vũ trụ sơ cấp chứ không phải là các hạt thứ cấp do tia vũ trụ proton va chạm với các nguyên tử giữa các hành tinh sinh ra.

Chúng ta đã biết, các electron năng lượng cao được quan sát từ xa do chúng bức xạ phi nhiệt các tần số vô tuyến điện khi chúng chuyển động trong từ trường. Ví dụ tàn dư Sao Siêu mới như tinh vân Con Cua là nguồn bức xạ mạnh phi nhiệt từ các electron tương đối tính. Hơn nữa, Sao Siêu mới phát ra năng lượng đủ để phát ra tia vũ trụ. Những nguồn khác của tia vũ trụ có thể là sao nơtron quay giống như các punxa đã được quan sát. Thời gian sống của tia vũ trụ trong thiên hà bị giới hạn, một phần thoát khỏi thiên hà, còn một phần được tiêu hao do tương tác với môi trường giữa các sao. Việc cung cấp tia vũ trụ cần phải được đảm bảo và liên tục nếu mật độ năng lượng và năng lượng toàn phần trong đó ít thay đổi. Tất nhiên Sao Siêu mới có thể duy trì sự cung cấp tia vũ trụ nếu nó xảy ra trong thiên hà cứ 50 năm có một vụ nổ. Dựa vào thống kê các vụ nổ Sao Siêu mới trong các thiên hà khác có thể đánh giá đúng tần số các vụ nổ Sao Siêu mới. Có thể có thêm một nguồn tia vũ trụ là nhân trung tâm của thiên hà, đó là một nguồn bức xạ. Các tia vũ trụ năng lượng cao (trên 10^{18}eV) có thể đi tới từ ngoài Thiên Hà của chúng ta, từ các siêu thiên hà vô tuyến và quasar, đó là những nguồn năng lượng khổng lồ đã được quan sát.

Các hạt tích điện phải được tăng tốc mạnh mới đạt đến năng lượng và tốc độ như các hạt trong tia vũ trụ. Chủ yếu sự tăng tốc xảy ra trong sóng xung kích từ vụ nổ Sao Siêu mới, nó đi xuyên qua môi

trường giữa các sao. Các miền không gian giữa các sao có đường sức từ trường hội tụ rất có khả năng tăng tốc các hạt tích điện trong tia vũ trụ.

3. Từ trường của thiên hà

Sự tồn tại của từ trường thiên hà được phát hiện nhờ quan sát sự quay Faraday của bức xạ từ các nguồn vô tuyến, bao gồm các nguồn trong thiên hà như punxa và cả các nguồn ngoài thiên hà. Sự quay Faraday là sự quay của mặt phẳng phân cực như bức xạ phân cực thẳng đi qua plasma từ hoá. Nếu mật độ electron và khoảng cách đi qua đều biết, chúng ta có thể xác định được cường độ từ trường trung bình. Theo sự đánh giá mới nhất gần đây, cường độ từ trường thiên hà vào khoảng 0,5nT. Trước khi có các quan sát về sự quay Faraday, người ta đã phỏng đoán thiên hà có từ trường dựa trên các quan sát sự phân cực giữa các sao và các số liệu về tia vũ trụ.

Một cách thăm dò khác từ trường của thiên hà là quan trắc hiệu ứng Zeemann của các vạch hấp thụ ứng với bước sóng 21cm của các đám mây giữa các sao dọc theo tia nhìn tới nguồn vô tuyến mạnh. Đối với hiđrô ở trạng thái cơ bản, từ trường sẽ tách vạch quang phổ ra ba thành phần và hiệu tần số giữa hai thành phần (của phân cực tròn đối nhau) tỷ lệ thuận với cường độ từ trường dọc theo phương tia nhìn:

$$\Delta\nu = (2{,}80.10^{2})\ B\ (Hz)$$

Trong đó từ trường tính bằng tesla. Các quan sát này cho số liệu phù hợp với quan sát sự quay Faraday và có giá trị vào khoảng từ 0,1 đến 1,0nT.

Hướng của từ trường của thiên hà cũng theo cấu trúc xoắn gần như dọc theo trục của cánh tay xoắn.

V– CÁC PHÂN TỬ GIỮA CÁC SAO VÀ SỰ SỐNG Ở CÁC HÀNH TINH NGOÀI HỆ MẶT TRỜI

1. Các phân tử giữa các sao

Các hạt nhân nguyên tử nhẹ như đơteri, hêli được tổng hợp từ hiđrô ngay sau Big Bang – Vụ nổ lớn ban đầu tạo ra vũ trụ, các nguyên tố khác nặng hơn hêli được tạo ra sau đó trong lòng các ngôi sao, nhất là trong các ngôi sao già hay trong các vụ nổ Sao Siêu mới. Các phân tử này được phóng vào không gian giữa các sao nơi sẽ diễn ra các phản

ứng hoá học tạo ra các phân tử mới. Các sao mới, các hành tinh và sự sống như trên Trái Đất được hình thành từ các khí phân tử.

Kính thiên văn quang học cho phép phát hiện các vạch nguyên tử cơ bản trong miền ánh sáng nhìn thấy, thiên văn vô tuyến giúp phát hiện các phân tử trong không gian giữa các sao. Các vạch phổ quang học phát sinh do sự chuyển các mức năng lượng cao của electron, trong khi vạch phổ vô tuyến nói chung tương ứng với sự chuyển giữa các mức tinh tế hay spin của electron nằm ở các trạng thái năng lượng thấp của phân tử.

Lần đầu tiên hợp chất nguyên tử OH đã được phát hiện trong môi trường giữa các sao ở bước sóng 18cm vào năm 1963. Sau đó ít năm đã phát hiện được oxit cacbon (CO), amôniac (NH_3) và hơi nước (H_2O). Sự phát hiện các phân tử giữa các sao mở ra một ngành hoá học mới trong vũ trụ được gọi là hoá học thiên văn. Môi trường giữa các sao rất loãng và lạnh, hoạt động hoá học khá yếu, tuy nhiên không đồng nhất, sự hình thành các phân tử phức tạp diễn ra trong các đám mây phân tử khổng lồ. Xung quang các sao đang được hình thành có mật độ vật chất khá lớn nên bức xạ phân tử mạnh. Các sao ở giai đoạn cuối của quá trình tiến hoá cũng được bao quanh một lớp vỏ khí và bụi chứa nhiều phân tử.

Đến nay đã phát hiện được trên một trăm loại phân tử trong Ngân Hà và một số thiên hà khác, tuy mức độ phổ cập thấp hơn hiđrô hàng trăm ngàn đến hàng tỉ lần.

Danh sách một số các phân tử giữa các sao

2 nguyên tử: H_2, C_2, CH^+, CH, OH, CO, CN, CS, NO, NS, NH, SO, SO^+, SiO, SiN, PN, PC, HCl, NaCl, KCl, AlCl, SiS, SiC.

3 nguyên tử: C_3, H_2O, C_2H, HCN, HCO, HCO^+, N_2H^+, H_2S, HNO, OCS, SO_2, HCS^+, SiC_2, C_2O, C_2S.

4 nguyên tử: NH_3, C_2H_2, H_2CO, HNCO, H_2CS, HNCS, C_3N, C_3H, C_3O, C_3S, $HCNH^+$, H_3O^+.

5 nguyên tử: C_5, CH_4, CH_2NH, H_2C_2O, NH_2CN, HCO_2H, C_4H, HC_3N, SiH_4, C_3H_2, CH_2CN, SiO_4.

6 nguyên tử: CH_3OH, CH_3CN, NH_3CHO, CH_3SH, C_2H_4, C_4H_2, C_5H, HC_2CHO.

7 nguyên tử: CH_3NH_2, CH_3C_2H, CH_3CHO, HC_5N, C_6H

8 nguyên tử: HCO_2CH_3, CH_3C_3N.

9 nguyên tử: CH_3CH_2OH, CH_3OCH_3, CH_3C_4H, CH_3CH_2CN, HC_7N.

10 nguyên tử: CH_3COCH_3

11 nguyên tử: HC_9N

13 nguyên tử: $HC_{11}N$

Nhiều phân tử trong các phân tử đã được phát hiện là những phân tử hữu cơ tức là hợp chất của cacbon. Cho đến nay phân tử nặng nhất trong thiên hà đã được phát hiện là $HC_{11}H$ với công thức cấu trúc H – C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ C ≡ N. Phân tử này thuộc họ các phân tử có chuỗi cacbon dài $HC_{2n+1}N$, với n = 1, 2, 3... được phát hiện trong lớp vỏ của các sao già giàu cacbon.

Các phân tử tồn tại giữa các sao chủ yếu ở pha khí.

2. Sự sống trong vũ trụ

Việc tìm kiếm sự sống trên các hệ hành tinh khác ngoài hệ Mặt Trời thúc đẩy các nhà thiên văn phát hiện các phân tử vì mục đích sinh học như các phân tử amino axit. Aminoaxit đơn giản nhất có khả năng tồn tại trong môi trường giữa các sao của Thiên Hà chúng ta là glyxin NH_2CH_2COOH nhưng vẫn chưa phát hiện được loại glyxin mà các nhà sinh học mong muốn. Điều đó không có nghĩa là không có mầm mống của sự sống nguyên thuỷ trong thiên hà. Việc tìm kiếm dấu tích của sự sống dưới dạng vi khuẩn đang được tiến hành qua việc khảo sát các thiên thạch từ vũ trụ rơi xuống Trái Đất.

Nếu trong số hàng tỉ ngôi sao trong thiên hà mà có những ngôi sao như Mặt Trời, chúng có một hệ các hành tinh trong đó có những hành tinh có nhiệt độ, không khí và nước... thích hợp với sự sống giống như trên Trái Đất và ở đó có nền văn minh thì việc liên lạc với chúng ta bằng các tín hiệu vô tuyến cũng phải mất nhiều năm thậm chí hàng trăm năm mới có tín hiệu phản hồi.

Kính thiên văn vũ trụ Hubble được phóng lên vũ trụ năm 1990 bay quanh Trái Đất ngoài khí quyển, có đường kính 2,4m sau khi được sửa chữa, kể từ năm 1994 cho đến nay đã phát hiện gần hai trăm hành tinh của các sao trong dải Ngân Hà, trong đó có một số hành tinh có khí quyển, đã mở ra một triển vọng mới trong việc phát hiện sự sống trong vũ trụ.

Các số liệu về Thiên hà của chúng ta

– Khối lượng $1,4.10^{11}$ khối lượng Mặt Trời (từ tâm đến Mặt Trời).

– Đường kính đĩa thiên hà: 30 kilôparsec (100000 năm ánh sáng).

– Đường kính của vùng trung tâm: 10 kilôparsec.

– Khoảng cách từ Mặt Trời đến tâm thiên hà 10 kilôparsec (có thể ít hơn).

– Đường kính quầng thiên hà khoảng 100 kilôparsec (không chính xác).

– Bề dày của đĩa: 1 kilôparsec (ở vị trí của Mặt Trời).

– Số sao trong thiên hà: 4.10^{11}.

– Mật độ sao vùng lân cận Mặt Trời: 20 sao/ parsec khối.

– Mật độ trung bình vật chất giữa các sao 10^{-24} g/cm^3 (vào khoảng một nguyên tử hiđrô trên 1cm^3).

– Độ trưng: 2.10^{10} L_0 (L_0 là độ trưng của Mặt Trời).

– Cấp sao tuyệt đối: –20,5

– Chu kỳ quay quanh tâm thiên hà ở khoảng cách như Mặt Trời: 250 triệu năm.

BÀI TẬP CHƯƠNG IX

9.1. Các bộ phận chính cấu tạo thành thiên hà của chúng ta là gì? Dải sóng nào được coi là tốt nhất được dùng để quan sát vùng trung tâm thiên hà? Tại sao?

9.2. Dựa trên cơ sở nào để nói thiên hà của chúng ta quay quanh tâm? Từ khi hình thành đến nay, Mặt Trời đã quay được khoảng bao nhiêu vòng quanh tâm thiên hà?

9.3. So sánh mật độ không khí mà chúng ta đang thở với mật độ môi trường giữa các sao.

9.4. Sao Chức Nữ cách chúng ta 26 năm ánh sáng, vận tốc tia (hướng về phía Trái Đất) là 14km/s chuyển động riêng hàng năm là 0",35. Tính vận tốc của sao Chức Nữ trong Thiên hà.

9.5. Các ngôi sao có khối lượng bé hơn khối lượng Mặt Trời khoảng 8 lần, ở gần cuối đời của chúng có sự mất mát khối lượng qua việc phát ra gió sao ở giai đoạn sao kênh đỏ. Hãy tính tốc độ mất mát khối lượng M' (theo khối lượng Mặt Trời/ năm) tại khoảng cách r bằng 10 lần bán kính của sao. Bán kính của sao $r = 10^{11}$m tốc độ gió sao v = 10km/s. Mật độ hạt (chủ yếu là hiđrô phân tử) $n_{H_2} = 10^{18}$ phân tử/m^3, khối lượng nguyên tử hiđrô $m_H = 1,66.10^{-27}$ kg và khối lượng Mặt Trời $M_0 = 2.10^{30}$kg.

Chương X

CÁC THIÊN HÀ VÀ QUASAR

Thiên hà là những đối tượng lớn nhất trong vũ trụ, chứa nhiều sao, bụi và khí có thể nhìn thấy qua kính thiên văn.

Ngân Hà là thiên hà lớn chứa khoảng 10^{11} ngôi sao, có những thiên hà lớn hơn và cũng có những thiên hà bé hơn. Hình ảnh vũ trụ mà chúng ta hình dung là vũ trụ gồm rất nhiều thiên hà. Các thiên hà ngoài Ngân Hà mới được thừa nhận và nghiên cứu từ năm 1924.

I– QUAN SÁT CÁC THIÊN HÀ QUA KÍNH QUANG HỌC

Đã trên 200 năm con người dùng kính viễn vọng quan sát các thiên hà. và hơn 100 năm sử dụng phương pháp chụp ảnh và trắc quang, chỉ nửa sau của thế kỷ XX mới sử dụng cửa sổ sóng vô tuyến điện đi qua khí quyển, mà kính thiên văn vô tuyến được sử dụng để nghiên cứu các thiên hà cũng mới được hoàn thiện ba bốn chục năm gần đây.

Việc quan sát các thiên thể qua cửa sổ ánh sáng nhìn thấy đi qua được khí quyển không chỉ quan trọng trong quá trình lịch sử mà dù sao ánh sáng các sao vẫn là nguồn bức xạ chính từ các thiên hà. Hơn nữa sự chuyển các electron trong nguyên tử có năng lượng cỡ vài ba electron–vôn tương ứng với năng lượng các photon ánh sáng nhìn thấy. Các sao và khí là hai thành phần chủ yếu tạo nên các thiên hà, cho nên quan sát ở phổ ánh sáng nhìn thấy vẫn là cơ sở để tìm hiểu các thiên hà. Tất nhiên các loại quan sát khác cũng có vai trò quan trọng trong việc tìm hiểu vũ trụ đặc biệt là các quan sát bằng tia hồng ngoại, tia X và sóng vô tuyến điện.

1. Hình ảnh các thiên hà qua kính quang học

Qua kính thiên văn người ta thấy được hình dạng các thiên hà, các cặp hai thiên hà, hệ ba thiên hà... nói chung các đám thiên hà. Những năm gần đây nhờ các thiết bị trắc quang hiện đại và nhờ việc xử lý số liệu quan trắc qua máy vi tính, người ta đo được các đại lượng như màu sắc, cấp sao một cách thường xuyên nhờ các bức ảnh chụp được từ mặt đất và từ các trạm vũ trụ. Hubble là người tiên phong nghiên cứu các thiên hà, dựa vào hình dạng bề ngoài đã phân

chia các thiên hà thành ba loại: elip, xoắn ốc và vô định hình (hình dạng bất thường). Trên hình X.1 biểu diễn giản đồ hệ thống phân loại các thiên hà. Các thiên hà elip ký hiệu là E, thiên hà xoắn ốc là S (Spiral), thiên hà vô định hình là Irr (irregular). Hubble cho rằng giản đồ này cho biết sự tiến hoá liên tục từ trái sang phải. Các kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy có thể các thiên hà elip được tạo thành từ các thiên hà xoắn ốc.

Hình X.1

2. Các thiên hà elip

Thiên hà elip xuất hiện trên bầu trời như một đĩa sáng hình elip (hình X.2). Chúng có dạng phỏng cầu dẹt (có thể dẹt có thể là elipxôit ba trục). Sự phân bố ánh sáng tương đối đều đặn với sự giảm dần từ tâm ra ngoài, có cường độ biến thiên gần với biểu thức $\log I(r) \sim \alpha r^{-1/4}$. Các thiên hà elip được sắp xếp theo hình ảnh nhìn thấy trên bầu trời. Nếu a và b là bán trụ lớn và bé của hình elip thì 10(a – b)/a biểu diễn dạng elip quan sát được. Dạng elip thực không thể biết chính xác vì không thể xác định được sự định hướng của từng thiên hà trong không gian. Thiên hà có dạng tròn ký hiệu là E_0, theo độ dẹt tăng dần, được ký hiệu từ E_1 đến E_7 (cuối cùng là loại dẹt nhất).

Hình X.2

Thiên hà elip không có các trục quay rõ ràng, các sao của chúng chuyển động theo những quỹ đạo có độ nghiêng biến thiên. Các nghiên cứu thống kê đi đến kết luận rằng, độ dẹt elip của các thiên hà loại này được phân bố khá đều đặn từ E_0 đến E_7.

Các thiên hà elip chứa ít khí, có khối lượng trải ra trên một dải rộng từ vài ngàn lần khối lượng Mặt Trời đối với các thiên hà elip lùn (trắt) cho tới khoảng 10^{13} lần khối lượng Mặt Trời đối với các thiên hà elip siêu kềnh. Các thiên hà lùn phổ biến hơn các thiên hà elip siêu kềnh, thường là những nguồn bức xạ vô tuyến mạnh.

3. Thiên hà xoắn ốc

Thiên Hà – Ngân Hà của chúng ta là loại thiên hà hình xoắn ốc. Thiên hà xoắn ốc thường ký hiệu là S (Spiral) hay SA, loại thiên hà này có nhiều cánh tay xoắn gần như đối xứng qua tâm quay của thiên hà. Còn có loại thiên hà giống như một thanh dài uốn cong có hai tay xoắn đối xứng qua tâm quay ký hiệu là SB (barres spiral).

Thiên hà xoắn ốc gần chúng ta nhất là thiên hà trong hướng chòm sao Tiên Nữ, nên trước đây được gọi là tinh vân Tiên Nữ, Hubble đã xác định được thiên hà này cách chúng ta khoảng 2 triệu năm ánh sáng (690kps). Trong danh mục các thiên hà Mecxiê thiên hà Tiên Nữ ký hiệu là M31. Trong tổng danh mục mới (New general catalog) ký hiệu là NGC224. Trên hình X.3 là thiên hà Tiên Nữ có hình dạng xoắn ốc rất giống Thiên Hà – Ngân Hà. Cạnh đó là hai thiên hà elip được ký hiệu là NGC205 (ở dưới) và M32 (ở trên). Ở bắc bán cầu có thể quan sát được thiên hà Tiên Nữ.

Hình X.3. Thiên hà Tiên Nữ

NGC 1201 Type S0

NGC 2841 Type Sb

NGC 2811 Type Sa

NGC 3031 M 81 Type Sb

NGC 488 Type Sab

NGC 628 M 74 Type Sc

Hình X.4a. Các thiên hà xoắn ốc bình thường

Hình X.4b. Các thiên hà thanh xoắn ốc

4. Thiên Hà vô định hình

Loại thiên hà này có hình dạng bất thường, mỗi thiên hà có hình dạng riêng. Trên hình X.5 là thiên hà vô định hình, ký hiệu là M82.

Các thiên hà vô định hình có hàm lượng khí lớn nhất, khối lượng các thiên hà này nói chung nhỏ hơn khối lượng các thiên hà xoắn ốc điển hình, trung bình vào khoảng 10^{10} khối lượng Mặt Trời.

Hai thiên hà vô định hình gần chúng ta nhất là hai đám mây Magellan lớn và bé, có thể nhìn thấy bằng mắt thường trên bầu trời Nam bán cầu. Các thiên hà này do Magellan đi thám hiểm vòng quanh Trái Đất phát hiện được, nên chúng được mang tên ông. Hai thiên hà này cách chúng ta các khoảng cách tương ứng là 50 và 60 kilôparsec, chúng là những vệ tinh của Thiên Hà – Ngân Hà của chúng ta.

Hình X.5

Mỗi loại thiên hà đều có các độ lớn khác nhau nên lại chia ra thiên hà lùn (trắt) thiên hà bình thường, thiên hà kềnh, thiên hà siêu kềnh.

Trong số các thiên hà đã được quan sát có tới 77% là thiên hà xoắn ốc, 20% là thiên hà elip, thiên hà vô định hình chỉ chiếm 3% vì thế thiên hà xoắn ốc sáng chiếm ưu thế. Tuy nhiên, ở những khoảng cách rất xa xét trong một thể tích không gian, tỷ lệ các loại thiên hà cũng tương đối khác nhau. Trong một miền không gian ngoài 9,1 triệu parsec cho thấy chỉ có 33% thiên hà xoắn ốc 13% elip 54% không định hình. Các thiên hà vô định hình thường là những thiên hà bé, có độ sáng tương đối yếu giống những thiên hà elip lùn.

II– QUAN SÁT CÁC THIÊN HÀ BẰNG CÁC SÓNG VÔ TUYẾN ĐIỆN, HỒNG NGOẠI VÀ RÖENTGEN

1. Vạch bức xạ hiđrô trung hoà

Hiđrô rất phổ biến trong vũ trụ, sóng 21cm do hiđrô trung hoà phát ra cung cấp nhiều thông tin về các thiên hà ở gần, bao gồm việc đánh giá lượng hiđrô trong thiên hà, tỷ lệ khối lượng hiđrô trong tổng khối lượng của thiên hà, sự phân bố hiđrô trong hệ và sự quay quanh

tâm thiên hà phụ thuộc vào khoảng cách, vận tốc theo phương tia nhìn của thiên hà. Khá nhiều số liệu về thiên hà được thu thập bằng kính thiên văn vô tuyến.

Lượng hiđrô trong các thiên hà không phụ thuộc vào kích thước thiên hà mà phụ thuộc vào loại thiên hà. Tỷ lệ phần trăm khối lượng của thiên hà là hiđrô gợi cho chúng ta những ý tưởng liên quan đến sự tiến hoá của các thiên hà. Tốc độ hình thành các sao trong thiên hà phụ thuộc vào lượng hiđrô có sẵn và mật độ vật chất. Quần thể sao II gồm các sao già hơn đã được quan sát trong các thiên hà vô định hình (như trong các đám mây Magellan) có tỷ lệ khối lượng hiđrô đối với khối lượng thiên hà (M_H/M_T) tương đối cao.

2. Quan sát bức xạ hồng ngoại của các thiên hà

Các quan sát bức xạ hồng ngoại mới được tiến hành vài ba chục năm nay, nhờ các vệ tinh thiên văn hồng ngoại (IRAS) được phóng lên vào giữa thập niên 80 của thế kỷ XX. Các vệ tinh đã thu được 96% các bước sóng 12, 25, 50 và 100μm trên bầu trời. Hàng ngàn thiên hà đã được phát hiện có bức xạ hồng ngoại. Một số thiên hà elip và các thiên hà xoắn ốc có thể tạo thành danh mục về thiên văn hồng ngoại. Nhân của thiên hà hoạt động và cả các thiên hà bình thường cũng thường bức xạ nhiều tia hồng ngoại. Các hạt bụi giữa các sao trong các thiên hà được sưởi nóng bởi các sao sáng đều theo cơ chế bức xạ nhiệt phát ra tia hồng ngoại. Cho nên các quan sát hồng ngoại cung cấp nhiều thông tin về thành phần và sự phân bố bụi trong các đám sao. Năm 1985 các nhà khoa học đã phát hiện sự liên kết giữa bức xạ hồng ngoại xa có bước sóng $\lambda = 60 \div 100\mu m$ và bức xạ vô tuyến có $\lambda = 20cm$.

3. Bức xạ Röentgen từ các thiên hà bình thường

Tia Röentgen từ vũ trụ đi tới Trái Đất bị khí quyển hấp thụ, nên chỉ có thể quan sát được bức xạ Röentgen ở vệ tinh nhân tạo hay trạm vũ trụ trên quỹ đạo. Từ những năm 1978 – 1980 đã có những hình ảnh về các đối tượng bức xạ Röentgen và thông lượng bức xạ của chúng. Mặc dù chưa tìm thấy mối liên hệ khăng khít giữa các số liệu hồng ngoại và bức xạ Röentgen, nhưng đã tìm thấy mối liên hệ giữa bức xạ vô tuyến với bức xạ Röentgen. Tuy cơ chế bức xạ khác nhau.

Trên hình X.6 là hình ảnh thiên hà Tiên Nữ được quan sát qua ánh sáng nhìn thấy, qua sóng vô tuyến điện có bước sóng 21cm qua

tia hồng ngoại có bước sóng 60μm và tia Röentgen của phổ các sóng điện từ. Người ta tìm thấy các lớp photon khác nhau đi tới từ các nguồn khác nhau. Ánh sáng nhìn thấy màu xanh da trời đi tới từ các sao và khí được phân bố khá xa. Còn tia Röentgen có sự phân bố rất khác nhau và tăng từ một số ít nguồn riêng biệt. Sự phân bố các photon vô tuyến và hồng ngoại rất giống nhau, cả hai đều có vành cường độ mạnh bức xạ lan rộng trên một hình đĩa, nhưng các nhân đều có những chỗ nhô ra.

Hình X.6. Thiên hà Tiên Nữ M31 nhìn thấy ở các bước sóng khác nhau

(A) Ánh sáng nhìn thấy màu xanh da trời;

(B) Hình ảnh ở sóng vô tuyến có bước sóng 21cm;

(C) 60μm.

(D) 0,5 ÷ 4,5 keV.

III– CÁC ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN CỦA CÁC THIÊN HÀ

Nhờ các kính thiên văn quang học rất lớn và các thiết bị trắc quang hiện đại người ta đo thông lượng bức xạ, màu sắc quang phổ, độ trưng... của các loại thiên hà, kết quả thu được các đặc trưng cơ bản của các loại thiên hà như trong bảng dưới đây:

	Thiên hà elip	Thiên hà xoắn ốc			Thiên hà vô định hình
Khối lượng (đơn vị là khối lượng Mặt Trời $M_\odot$)	10^5 — 10^{13}	10^9 — 4.10^{11}			10^8 — 3.10^{10}
Cấp sao tuyệt đối	–9 — –23	–15 — –21			–13 — –18
Độ trưng (đơn vị độ trưng Mặt Trời $L_\odot$)	3.10^5— 10^{11}	10^8 — 2.10^{11}			10^7 — 10^9
$\frac{M}{L}\left(\frac{M_\odot}{L_\odot}=1\right)$	100	2 — 20			1
Đường kính (kiloparsec)	1 — 200	5 — 50			1 — 10
Sự có mặt của bụi	Hầu như không	Có			Có
		Sa	Sb	Se, Sd	
Chỉ số màu (B – V)	+ 1,0	+0,9	+0,4—0,8	+0,4–0,6	+0,3 — +0,4
Tỉ số khối lượng H và khối lượng thiên hà $\left(\frac{M_H}{L_T}\%\right)$	hầu như không	2±2	5±2	10±2	22 ± 4
Loại quang phổ	K	k	F — k	A–F	A — F

IV– ĐỊNH LUẬT HUBBLE VÀ KHOẢNG CÁCH TỚI CÁC THIÊN HÀ

Kính thiên văn có đường kính 2,5m được lắp đặt năm 1918 ở Mount Wilson (Mỹ) là kính lớn nhất thời bấy giờ. Dùng kính này Hubble đã khám phá ra một loạt các tinh vân ở bên ngoài dải Ngân Hà.

Trước thế kỷ XX kích thước vũ trụ mà thiên văn học nghiên cứu đã được mở rộng:

– Copernicus và Kepler chỉ ra kích thước của hệ Mặt Trời tới hàng chục đơn vị thiên văn.

– Năm 1838 Bessel là người đầu tiên đo góc thị sai của các sao, đó

là góc từ một ngôi sao nhìn bán kính quỹ đạo Trái Đất, bằng phương pháp này người ta đo được khá chính xác các khoảng cách từ các thành viên trong hệ Mặt Trời đến Mặt Trời và khoảng cách đến các sao tương đối gần.

Trong thế kỷ XX người ta sử dụng định luật liên hệ giữa chu kỳ và độ trưng của các sao biến quang Cêphêit để đo khoảng cách tới các thiên hà ngoài thiên hà của chúng ta, đồng thời sử dụng định luật Hubble để biết được khoảng cách tới các thiên hà xa nhất để đánh giá kích thước và tuổi của vũ trụ.

1. Quan hệ chu kỳ và độ trưng (hay công suất bức xạ) của sao biến quang Cêphêit

Các sao biến quang Cêphêit (loại sao này được phát hiện lần đầu tiên trong chòm sao Thiên Vương, tiếng La tinh là Cepheus) có chu kỳ biến thiên tính bằng ngày có liên hệ với độ trưng đo bằng cấp sao tuyệt đối hay công suất bức xạ được biểu hiện trên hình X.7. Trên hình này trục hoành biểu diễn logarit của chu kỳ mà chu kỳ tính bằng đơn vị ngày, trục tung là giá trị của cấp sao tuyệt đối của quang cầu. Chu kỳ và cấp sao nhìn thấy được xác định bằng quan sát.

Do đó, thị sai π của sao biến quang Cêphêit được xác định theo công thức:

$$\lg\pi = -1 - 0{,}2\,(m - M)$$

m là cấp sao nhìn thấy

M là cấp sao tuyệt đối theo đồ thị trên hình X.7.

Hình X.7

Dựa vào phương pháp này người ta xác định được khoảng cách tới các đám sao và các thiên hà tương đối gần, khoảng cách các thiên hà xa hơn có thể suy ra bằng cách so sánh độ sáng biểu kiến của chúng với độ sáng biểu kiến của các thiên hà ở gần. Vì kích thước thiên hà tương đối bé so với khoảng cách tới chúng, nên thị sai của sao biến quang nằm trong thiên hà cũng là thị sai của thiên hà cho ta biết khoảng cách tới thiên hà ấy.

2. Định luật Hubble

Từ năm 1912 người ta đã phát hiện ra rằng, khi quan sát các tinh vân có hình xoắn ốc, các vạch quang phổ có sự dịch chuyển về phía đỏ. Theo hiệu ứng Doppler, khi nguồn sáng đi ra xa thì các vạch quang phổ dịch chuyển về phía bước sóng dài nghĩa là dịch chuyển về phía đỏ khi nguồn đi tới thì các vạch quang phổ dịch chuyển về phía bước sóng ngắn (phía xanh – tím).

Dựa vào hiệu ứng này người ta xác định được vận tốc tia (vận tốc theo phương tia nhìn) của các thiên thể. Sau khi đo khoảng cách và vận tốc tia của hàng chục thiên hà. Hubble nhận thấy có mối liên hệ giữa khoảng cách tới các thiên hà và vận tốc của chúng. Mối liên hệ này được biểu diễn trên đồ thị (hình X.8).

Hình X.8

Nếu thiên hà bức xạ vạch quang phổ có bước sóng λ_0 mà ta thu được bước sóng lớn hơn là λ.

Theo hiệu ứng Doppler ta có: $\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ trong đó v là vận tốc của nguồn, c là vận tốc ánh sáng.

Với $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$. Vậy $v = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = cz$

Sử dụng hệ thức chu kỳ – độ trưng của các sao biến quang trong các thiên hà để xác định khoảng cách, năm 1929 Hubble đã công bố hệ thức mà ngày nay gọi là Định luật Hubble.

$$v = Hd$$

Trong đó d là khoảng cách từ thiên hà được khảo sát đến chúng ta, v là vận tốc thiên hà đi ra xa. H được gọi là hằng số Hubble có giá trị trong khoảng giữa 50 và 80km/sMpc, lấy giá trị trung bình ta thừa nhận hằng số Hubble có giá trị là $H = \frac{v}{d} = 65\frac{km}{sMps} = 20.10^{-3}$ m/s năm ánh sáng.

Các kết quả nghiên cứu của Hubble cho thấy các thiên hà đều cho quang phổ dịch chuyển về phía đỏ, chứng tỏ các thiên hà đang đi ra xa. Đồng thời các thiên hà càng ở xa chúng ta lại đang lùi ra xa với vận tốc càng lớn. Đây là chứng cứ thực nghiệm cho lý thuyết về vũ trụ đang mở rộng, được dùng làm cơ sở cho vũ trụ học hiện đại, cho rằng vũ trụ có sự tiến hoá. Dựa vào định luật Hubble người ta tính được tuổi của vũ trụ vào khoảng 15 tỉ năm.

V– CÁC ĐÁM THIÊN HÀ VÀ TƯƠNG TÁC GIỮA CÁC THIÊN HÀ

1. Các đám thiên hà

Các thiên hà có xu hướng tập hợp với nhau thành nhóm. Thiên Hà Ngân Hà và các thiên hà lân cận tạo thành nhóm địa phương gồm khoảng 20 thành viên, chiếm một thể tích không gian có đường kính vài mêgaparsec. Nhóm này bị chi phối bởi ba thiên hà xoắn ốc lớn. Đó là thiên hà Tiên Nữ, thành viên có khối lượng lớn nhất khoảng 3.10^{11} khối lượng Mặt Trời, thứ hai là Thiên Hà Ngân Hà với khối lượng nhỏ hơn hai lần. Thiên hà thứ ba nằm theo hướng chòm sao Tam Giác ký hiệu là M33. Các thành viên còn lại của nhóm là các thiên hà elip, các thiên hà có dạng bất thường với khối lượng nhỏ hơn nhiều. Một số

thiên hà trong nhóm địa phương đã được phát hiện bởi sự phát xạ vô tuyến của chúng, bởi vì chúng nằm trong mặt phẳng Thiên Hà của chúng ta, nên ánh sáng nhìn thấy của chúng phát ra bị bụi trong Thiên Hà của chúng ta hấp thụ.

Khoảng năm chục nhóm nhỏ các thiên hà đã được tìm thấy xung quanh nhóm địa phương. Ở xa hơn, cách chúng ta khoảng 15 mêgaparsec là đám thiên hà Trinh Nữ chứa hàng ngàn thiên hà, trải ra khoảng 12 độ trên bầu trời trong chòm sao Trinh Nữ. Các đám thiên hà lại tập hợp thành các siêu đám như siêu đám địa phương có tâm nằm ở đám Trinh Nữ và chứa tất cả các nhóm xung quanh trong đó có nhóm địa phương. Nói chung, việc xác định sự phân bố các thiên hà trong vũ trụ dựa trên khoảng cách thu được từ các phép đo vận tốc tia (theo phương tia nhìn) của chúng và ứng dụng định luật Hubble. Các đám thiên hà không chỉ là những nguồn phát xạ vô tuyến mà còn phát ra tia X. Điều đó chứng tỏ rằng chúng chứa khí ở nhiệt độ từ hàng chục đến hàng trăm triệu độ. Các đám thiên hà rất sáng và phát xạ sóng vô tuyến nên chúng có thể được phát hiện ở những khoảng cách rất xa, do đó chúng được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc và quy mô rộng lớn của vũ trụ.

Các kính thiên văn vũ trụ như kính Hubble được sử dụng để phát hiện các thiên hà xa nhất, một số nằm ở khoảng cách trên 10 tỉ năm ánh sáng. Điều này có nghĩa là chúng ta đang thăm dò vũ trụ ở giai đoạn rất sớm trong quá trình tiến hoá của nó.

2. Tương tác giữa các thiên hà

Mọi thiên hà trong vũ trụ đều chuyển động nên một thiên hà có thể va chạm với thiên hà lân cận. Vì khoảng cách giữa các thiên hà rất lớn cho nên lực tương tác giữa các thiên hà khá bé. Tuy lực hấp dẫn bé nhưng thiên hà có khối lượng lớn hơn vẫn có khả năng lấy khí ở các lớp ngoài của các Thiên hà lân cận đồng hành có khối lượng bé hơn. Một chứng cứ rõ ràng về một tương tác như vậy là các nhà thiên văn vô tuyến đã phát hiện Dòng Magellan gồm các nguyên tử hiđrô trung hoà chảy từ hai đám mây Magellan đi tới Thiên Hà – Ngân Hà của chúng ta. Các quan sát bức xạ vô tuyến của hiđrô trung hoà ở bức sóng 21cm cũng cho thấy rằng mặt phẳng thiên hà của chúng ta bị vênh lên ở một phần ngoài do tương tác hấp dẫn với các đám mây Magellan.

Sự va chạm trực diện giữa các thiên hà có thể xảy ra. Trên hình X.9 có hình thiên hà vành, được gọi là thiên hà Cartwheel. Đây có thể là kết quả của sự va chạm giữa một thiên hà xoắn ốc lớn (mà hiện nay là vành) và hai thiên hà khác.

Sự va chạm có thể tạo ra những sao mới cực sáng ở trung tâm thiên hà nên thiên hà trở nên bừng sáng.

Hình X.9

Các kết quả quan sát được tiến hành với kính thiên văn vũ trụ Hubble cho thấy rằng, các đám thiên hà trẻ ở xa dường như có nhiều thiên hà xoắn ốc. Điều này ủng hộ ý kiến cho rằng các thiên hà elip có thể được tạo thành muộn hơn do sự sát nhập các thiên hà xoắn ốc nghĩa là trái với giản đồ sự tiến hoá của các thiên hà mà Hubble đề xướng (hình X.1).

Các nhà thiên văn đã xây dựng các mô hình dựa trên tương tác hấp dẫn bằng cách sử dụng máy tính để mô tả hậu quả của sự va chạm và tái tạo các hình ảnh mà đã quan sát được.

VI– CÁC QUASAR

1. Việc phát hiện quasar

Qua kính thiên văn cỡ lớn người ta đã nhìn thấy quasar từ năm 1946. Đến đầu thập kỉ 60 thế kỷ XX người ta thu được các bức xạ vô tuyến với công suất rất lớn của quasar. Lúc đầu người ta nghĩ rằng quasar là một loại thiên thể coi như sao nên trong tiếng Anh gọi là quasi – star và gọi tắt là quasar. Trên hình X.10 (ảnh Đài thiên văn Hale) có mũi tên chỉ quasar, trông giống như các ngôi sao bên cạnh. Hiện nay đã phát hiện được trên 1500 quasar, đa số quasar đều có quang phổ dịch chuyển rất lớn về phía đỏ, chứng tỏ chúng đang chuyển động ra xa Trái Đất với vận tốc đặc biệt lớn (gần với vận tốc ánh sáng). Như vậy, chúng là những đối tượng đã biết ở xa nhất trong vũ trụ.

Hình X.10

Các quasar có kích thước không quá một hoặc hai năm ánh sáng, nhưng có độ sáng lớn hơn 1000 lần thiên hà khổng lồ có đường kính 100000 năm ánh sáng.

Độ sáng đặc biệt lớn mới cho phép quan sát được quasar ở khoảng cách trên 10 tỉ năm ánh sáng.

2. Bản chất của quasar

Quasar là loại thiên thể sáng nhất có công suất bức xạ lớn nhất trong vũ trụ. Các nghiên cứu quang phổ cho thấy rằng, bức xạ của quasar được phát ra bởi các khí nóng tương tự như các khí được tìm thấy ở trung tâm các thiên hà vô định hình có nhân rất hoạt động và rất sáng. Các vạch phát xạ của chúng trải rộng ra chứng tỏ đám khí nóng trong các quasar chuyển động với vận tốc hàng trăm kilômét mỗi giây. Các quasar cũng là những nguồn phát ra tia X và sóng vô tuyến rất mạnh. Điều kỳ lạ là tất cả năng lượng khổng lồ này được phát sinh trong một thể tích có đường kính một vài năm ánh sáng, là một thể tích rất nhỏ mà năng lượng lại lớn gần hàng ngàn lần năng lượng bức xạ của những thiên hà có kích thước lớn gấp hàng vạn lần. Chúng ta cũng rất khó đo được chính xác kích thước của quasar, vì chúng ở rất xa nên với kính thiên văn lớn nhất cũng không thể phân giải được. Các nhà thiên văn đã sử dụng một trong những đặc tính quan trọng nhất của quasar là sự biến thiên cường độ sáng và bức xạ vô tuyến của chúng để ước tính kích thước của quasar. Khi quasar có

vụ nổ, độ trưng tăng lên, phía hướng về Trái Đất gần hơn cho thấy độ trưng tăng lên trước so với hướng ngược lại nên có thể dựa vào sự biến thiên chu kỳ ngắn này để xác định kích thước của quasar.

Độ trưng biểu kiến của quasar thay đổi đáng kể trong thời gian vài năm. Những vụ nổ tạo ra các đám mây chứa các electron có năng lượng cao mới xuất hiện. Những đám mây này phát xạ sóng vô tuyến. Các quan sát cho thấy rằng, trong vũ trụ ở những khoảng cách lớn có nhiều quasar hơn so với ở những khoảng cách bé, chứng tỏ có nhiều quasar tồn tại trong vũ trụ khi mới hình thành. Điều này phù hợp với lý thuyết "Vụ nổ lớn" (Big – Bang) tạo ra một vũ trụ tiến hoá.

Vì sao quasar có một năng lượng lớn như vậy?

Sự ra đời các kính thiên văn quang học và kính thiên văn vô tuyến rất lớn, cùng với sự tiến bộ trong vật lý về các vật thể khối lượng lớn, mật độ vật chất cao đã cho phép các nhà thiên văn đề xuất các lý thuyết về nguồn gốc năng lượng của quasar.

– Một trong những lý thuyết này cho rằng các quasar có liên quan với nhân hoạt động mạnh của một số thiên hà. Một tập hợp sao có khối lượng lớn va chạm với một tập hợp khác ở trong vùng trung tâm của một thiên hà gây ra những vụ nổ sao siêu mới có thể cung cấp năng lượng cho một quasar.

– Một lý thuyết khá phổ biến hơn cho rằng quasar là một lỗ đen khổng lồ. Các quasar ở rất xa, gần bờ của vũ trụ, các sao lớn ở đây được hình thành rất sớm, khi tiêu thụ hết nhiên liệu hiđrô bị suy sụp trở thành lỗ đen, theo thời gian hàng tỉ lỗ đen hút lẫn nhau bằng lực hấp dẫn sẽ liên kết lại thành một lỗ đen khổng lồ có khối lượng lớn đến hàng trăm triệu khối lượng Mặt Trời, nó tiếp tục xé xác những ngôi sao đến gần, tích tụ vật chất ở xung quanh thành một đĩa bao quanh lỗ đen khổng lồ, vật chất trong đĩa này nóng đến mức phát ra tia X. Vậy quasar là một lỗ đen khổng lồ khi va chạm với các thiên hà nó sẽ lấy được nhiên liệu cho lỗ đen trung tâm phát ra năng lượng. Đám sáng mờ xung quanh lõi một số quasar đã được phân giải thành một dây tạo bởi các đám sao. Dây này có thể được tạo thành sau vụ va chạm với một thiên hà đồng hành. Kính thiên văn vũ trụ Hubble có thể quan sát các đối tượng trong vũ trụ xa gấp 7 lần kính thiên văn lớn nhất đặt trên mặt đất, lại có độ phân giải không gian đặc biệt cao, các nhà thiên văn mới có thể phát hiện cấu trúc tinh tế nói trên trong các quasar.

VII– THẤU KÍNH HẤP DẪN VÀ ẢO ẢNH VŨ TRỤ

Thuyết tương đối rộng của Einstein tiên đoán rằng, ánh sáng cũng như bất kỳ một bức xạ nào đó phát ra từ một ngôi sao, một thiên hà hay một quasar khi đi qua một trường hấp dẫn của một vật thể L có khối lượng lớn, đều bị tương tác làm cho đường đi bị lệch. Độ lệch tỷ lệ với cường độ trường của vật thể L. Trên hình X.11, Q là một quasar phát ra ánh sáng đi qua trường hấp dẫn của vật thể L có khối lượng lớn sẽ bị uốn cong trước khi đến người quan sát ở O. Người quan sát sẽ nhìn thấy ảnh của Q. Góc lệch α thay đổi theo khoảng cách r từ tia tới đến thấu kính hấp dẫn và khối lượng M của nó.

$$\alpha = \frac{8GM}{c^2 r}$$

Trong đó G là hằng số hấp dẫn, c là vận tốc ánh sáng.

Hình X.11. *Thấu kính hấp dẫn*

Thí nghiệm kiểm chứng sự lệch của tia sáng khi đi qua trường hấp dẫn của một thiên thể được thực hiện trong thời gian nhật thực toàn phần ngày 28/5/1919 tại Chi Lê. Khi nhật thực toàn phần Mặt Trăng che khuất Mặt Trời nên quan sát được vị trí của các sao ở gần mép đĩa Mặt Trời. So sánh toạ độ các sao này với toạ độ của chúng khi không có nhật thực thì thấy toạ độ các sao bị lệch một góc từ 1",61 đến 1",98. Theo lý thuyết với Mặt Trời đóng vai trò thấu kính hấp dẫn thì góc lệch của các tia sáng từ các sao đi gần đĩa Mặt Trời tới Trái Đất là 1"75. Kết quả quan sát này cho thấy các photon đi từ các ngôi sao có khối lượng nghỉ bằng không, khi chuyển động với vận tốc $c = 3.10^8$m/s sẽ có khối lượng nên bị tương tác với lúc hấp dẫn của Mặt Trời làm cho quỹ đạo bị uốn cong. Nghĩa là thuyết tương đối của Einstein đã được kiểm chứng.

Việc phát hiện ra quasar kép 0957 + 561 phát xạ ánh sáng nhìn thấy và sóng vô tuyến vào năm 1979 đã làm xuất hiện câu hỏi lý thú

về nguồn gốc của chúng. Hai thành phần của quasar ở trên bầu trời chỉ cách nhau một cung 6 giây, có cùng độ dịch chuyển về phía đỏ như nhau chứng tỏ chúng ở cách chúng ta một khoảng như nhau. Chúng có các tính chất giống nhau trông rất giống một cặp thiên thể sinh đôi. Thực ra chúng là hình ảnh của một quasar rất yếu và ở rất xa, khoảng 10 tỉ năm ánh sáng. Trên đường đi tới chúng ta có trường hấp dẫn của một thiên hà đóng vai trò một thấu kính hấp dẫn đã tạo ra hai hình ảnh. Thấu kính hấp dẫn trong trường hợp này là một thiên hà mờ nằm gần đúng giữa đường (cách chúng ta khoảng 5 tỉ năm ánh sáng) nối từ quasar đến chúng ta.

Thấu kính hấp dẫn có thể làm tăng cường độ của thiên thể ở đằng sau nó mà còn cho hình ảnh thiên thể bị biến dạng. Hình thái của ảnh phụ thuộc mức độ thẳng hàng của nguồn ở đằng sau. Nếu nguồn và thấu kính hoàn toàn thẳng hàng thì ảnh là một vành tròn gọi là "vành Einstein", bán kính của vành là:

$$r = \left(\frac{4GMd}{C^2}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Trong đó M là khối lượng của vật làm thấu kính có tác dụng làm lệch tia sáng, d là khoảng cách sao cho $\frac{1}{d} = \frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}$, d_1 là khoảng cách từ thấu kính đến người quan sát, d_2 là khoảng cách từ thấu kính đến nguồn ở đằng sau.

Trên thực tế ánh sáng từ các quasar ở rất xa phải mất hàng tỉ năm mới tới kính thiên văn phải đi qua một lớp các thiên hà, chúng đóng vai trò thấu kính hấp dẫn có khả năng làm biến dạng, sự tạo ảnh của thấu kính hấp dẫn dẫn đến một hệ nhiều ảnh và cung sáng phức tạp nhiều hay ít tuỳ thuộc vào sự phân bố các thiên hà.

Thấu kính hấp dẫn là một công cụ hữu hiệu để phát hiện các đám thiên hà thậm chí các phôi thiên hà (Tiền thiên hà) nằm ở phía trước. Các thiên thể này còn trẻ có khối lượng lớn, chứa chủ yếu khí và bụi, không phát ra nhiều bức xạ. Nhờ có các quasar ở rất xa, rất gần biên giới của vũ trụ, bức xạ của quasar đi tới chúng ta phải đi qua nhiều hệ thiên hà, do đó chúng ta mới có điều kiện khảo sát các hệ thiên hà này. Một ứng dụng quan trọng thứ hai là nhờ thấu kính hấp dẫn mà chúng ta phát hiện được vật chất đen không nhìn thấy. Khi quan sát chuyển động của các thiên hà cho thấy khối lượng của thiên hà phải

lớn hơn rất nhiều tổng khối lượng của các sao và tinh vân quan sát được. Vậy trong vũ trụ còn có loại vật chất đen không bức xạ. Vật chất đen có cấu tạo như thế nào và được phân bố như thế nào là những vấn đề đang được các nhà vật lý hạt sơ cấp và thiên văn vật lý hết sức quan tâm.

BÀI TẬP CHƯƠNG X

10.1. Hình 1 là một thiên hà hình xoắn ốc có kích thước ứng với góc nhìn là $\alpha = 22'$, $\beta = 11'$. Thiên hà có dạng một đĩa tròn, ở giữa tập trung phần lớn vật chất, các ngôi sao quay quanh một trục vuông góc với mặt phẳng của đĩa dưới tác dụng của lực hấp dẫn giống như các hành tinh quay quanh Mặt Trời.

Hình 1

Hình 2

Khi quan sát các sao biến quang Cêphêit có độ sáng biến thiên tuần hoàn với chu kỳ T nằm trong thiên hà này thì có thể tính được khoảng cách từ Trái Đất đến thiên hà. Muốn vậy người ta so

sánh sự thay đổi độ sáng theo chu kỳ T với độ sáng trung bình của các sao biến quang khác. Hình 2 là đồ thị biểu diễn công suất bức xạ của các sao biến quang quan sát được theo chu kỳ T. Các sao biến quang Xêphêit của thiên hà này (hai vị trí S_1 và S_2 trên hình 1) có chu kỳ biến quang là T = 40 ngày, công suất bức xạ thu được nhờ kính thiên văn có đường kính 2,4m là $W = 4,4.\ 10^{-16}$ (W). Phép phân tích quang phổ cho thấy vạch lệch vẽ phía đỏ, so với bước sóng chuẩn là λ_0 = 587,56nm thì các bước sóng thu được từ hai ngôi sao trên có giá trị λ_1 = 588,95nm và λ_2 = 588,22nm.

a) Hãy xác định góc giữa tia nhìn (từ Trái Đất nhìn thiên hà) và trục quay của thiên hà.

b) Sử dụng kết quả thu được, hãy tính khoảng cách từ Trái Đất đến thiên hà này theo đơn vị thiên văn (đvtv).

c) Hãy ước lượng vận tốc quay quanh tâm thiên hà của các sao biến quang và khoảng cách từ chúng đến tâm thiên hà.

d) Nếu xem Mặt Trời là ngôi sao có khối lượng trung bình, hãy ước lượng số ngôi sao có ở phần bên trong các sao biến quang của thiên hà này.

10.2. Một thiên hà lùn chuyển động với vận tốc 100km/s ở cách 50kps một thiên hà khổng lồ có khối lượng bằng 10^{11} khối lượng Mặt Trời, thiên hà lùn có thể thoát khỏi lực hút hấp dẫn của thiên hà khổng lồ hay không?

10.3. Các quan sát cho thấy rằng độ trưng của một số quasar biến thiên với chu kỳ ngắn chỉ một ngày. Chúng ta có thể nói gì về kích thước của các quasar như vậy?

10.4. Một nhà thiên văn quan sát một ảo ảnh vũ trụ gồm một vành sáng (vành Einstein) xung quanh một thiên thể G có khối lượng bằng khối lượng Mặt Trời ở cách hệ Mặt Trời 10kps. Nguồn sáng S ở đằng sau nằm cách G 40kps. Kích thước vành Einstein mà người quan sát đo được là bao nhiêu?

10.5. Quasar 3C273 có độ dịch chuyển về phía đỏ bằng 0,16 bước sóng

a) Tính khoảng cách của quasar ấy tới chúng ta.

b) Vành sáng bao quanh 3C273 có đường kính 15". Kích thước dài của nó là bao nhiêu?

c) Cấp sao tuyệt đối của vết sáng là –25. Độ trưng của nó lớn gấp bao nhiêu lần độ trưng của Mặt Trời?

Chương XI

VŨ TRỤ HỌC

Vũ trụ học là một ngành vật lí thiên văn nghiên cứu sự tiến hoá của vũ trụ từ lúc hình thành cho đến tương lai vô tận.

Trước đây có những lý thuyết khác nhau về nguồn gốc và phát triển của vụ trụ, nhưng từ khi Hubble phát hiện các Thiên Hà đang đi ra xa, các Thiên Hà càng xa thì đi ra xa càng nhanh nghĩa là vũ trụ đang nở rộng. Năm 1948 có hai mô hình vũ trụ được đề xướng: mô hình vụ nổ nguyên thuỷ (Vụ nổ lớn – BigBang) của G.A.Gamow (1904 – 1968) người Mỹ gốc Nga và mô hình vũ trụ dừng cho rằng vũ trụ không thay đổi theo thời gian vì vật chất có thể được tạo ra một cách tự phát để cân bằng với sự giãn nở của vũ trụ, nên mật độ vật chất trong vũ trụ không thay đổi theo thời gian nên vũ trụ là vĩnh cửu không có mở đầu, không có sự kết thúc.

Mô hình vụ nổ lớn cho rằng vật chất trong vũ trụ không thể được tạo ra cũng không thể bị huỷ đi một cách tự phát. Khoảng 15 tỉ năm về trước, khi vũ trụ được tạo thành từ một điểm kỳ dị, vật chất được tập trung ở một trạng thái nhiệt độ và mật độ vô cùng lớn. Sau một vụ nổ lớn nó giãn nở và nguội dần.

Hiện nay đa số các nhà khoa học ủng hộ thuyết vụ nổ lớn.

Trong chương này đề cập đến hai vấn đề quan trọng nhất về vũ trụ. Thứ nhất là lý thuyết về mô hình vũ trụ dựa trên thuyết tương đối rộng. Thứ hai là việc phát hiện bằng quan sát bức xạ nền hay bức xạ tàn dư chứng tỏ vũ trụ ban đầu là một biển lửa dữ dội và nóng đến mức không thể tưởng tượng được.

I– THUYẾT TƯƠNG ĐỐI HẸP VÀ VŨ TRỤ HỌC NEWTON

Vũ trụ học không xét chi tiết các thiên thể cụ thể như sao chổi, hành tinh, các sao... mà xét các đối tượng lớn như thiên hà để suy xét đánh giá các chỉ số vật chất tồn tại trong đó cho phép chúng ta tìm hiểu sự chuyển động, sự phân bố và số lượng. Trước tiên chúng ta phải quan tâm khảo sát các mô hình lý thuyết của vũ trụ có sự liên hệ giữa lý thuyết và các số liệu thu được từ quan sát.

Khảo sát mô hình vũ trụ tương đối tính dựa trên lý thuyết tương

của Einstein: Tương đối hẹp (1905) và tương đối rộng (1915). Thuyết tương đối rộng là lý thuyết của trường hấp dẫn thay thế các định luật cổ điển của Newton.

1. Thuyết tương đối hẹp

Một trong các tiên đề quan trọng của thuyết tương đối hẹp có thể biểu diễn bằng phương trình sau:

$$dl^2 = cdt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \qquad \text{(XI – 1)}$$

Vế bên phải là các vô cùng bé của ba toạ độ Descartes (toạ độ cực, toạ độ trụ...) Nhưng vô cùng bé của toạ độ thời gian tương đương với các vô cùng bé của các toạ độ không gian. Chú ý rằng có sự tương tự giữa phương trình này với định lý Pythagore, dl^2 được xem như khoảng cách của hai điểm trong không thời gian bốn chiều. Chúng ta gọi hệ bốn chiều là không – thời gian. Thuyết tương đối hẹp giả thiết rằng, đối với hai sự kiện nào đó, dl^2 là như nhau đối với tất cả quan sát viên ở trong các hệ quán tính (chuyển động không có gia tốc). Sự khác nhau về dấu trong vế phải chỉ ra rằng toạ độ thời gian không hoàn toàn giống như các toạ độ không gian. Nếu chúng ta lấy căn bậc hai thì các toạ độ thời gian và không gian khác nhau một thừa số là số ảo i. Vậy theo lý thuyết này thời gian là một thành phần của vũ trụ bốn chiều của chúng ta và cũng có tầm quan trọng như không gian.

Trong một số lĩnh vực của thiên văn vật lý cần phải sử dụng các kết quả của thuyết tương đối hẹp như các hiện tượng không gian co lại, thời gian giãn ra, phép cộng vận tốc khi chuyển động với vận tốc so sánh được với vận tốc ánh sáng. Ví dụ các tia vũ trụ khi va đập vào khí quyển tạo ra các hạt thứ cấp có thời gian tồn tại được kéo dài do các hạt này chuyển động rất nhanh.

2. Vũ trụ học Newton

Trước khi khảo sát phương trình chuyển động đối với vũ trụ theo thuyết tương đối rộng, chúng ta cần khảo sát mô hình vũ trụ theo cơ học Newton. Vì từ các phương trình chuyển động tương đối tính khi có vận tốc rất bé so với vận tốc ánh sáng chúng ta lại thu được phương trình chuyển động theo cơ học Newton.

Giả sử vũ trụ vô tận và đồng nhất, vận tốc ánh sáng lớn vô cùng, thời gian chung (thời gian tuyệt đối) đều giống nhau đối với mọi quan sát viên.

Newton cho rằng, vật chất chỉ ở trong một số điểm có ảnh hưởng đến chuyển động, ở đó vật chất được phân bố một cách đồng nhất, vật chất ở dạng khí không tương tác với nhau (áp suất bằng không) thì phương trình chuyển động đối với vật được khảo sát là:

$$\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{GM(R)}{R^2} \text{ (đối xứng cầu)} \qquad \text{(XI–2)}$$

M(R) là khối lượng ở bên trong R.

$$M(R) = 4\pi\int_0^R \rho(r)r^2dr = \frac{4}{3}\pi\rho R^3$$

Vì $\rho(r) = \rho$ = không đổi. Nhân phương trình XI–2 với $\frac{dR}{dt}$ ta được:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)\frac{d^2R}{dt^2} = -\frac{GM(R)}{R^2}\left(\frac{dR}{dt}\right) \qquad \text{(XI–3)}$$

Lấy tích phân phương trình này đối với t:

$$\int_0^t \frac{dR}{dt}\cdot\frac{d^2R}{dt^2} + \int_0^t \frac{GM(R)}{R^2}\frac{dR}{dt} = 0$$

Trong tích phân này có thể viết:

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{\left(\frac{dR}{dt}\right)^2}{2}\right] = 2\left[\frac{\left(\frac{dR}{dt}\right)}{2}\right]\left(\frac{d^2R}{dt^2}\right) = \left(\frac{dR}{dt}\right)\left(\frac{d^2R}{dt^2}\right)$$

Nên ta có: $\frac{\left(\frac{dR}{dt}\right)^2}{2} - \frac{GM(R)}{R}$ = k = không đổi.

Nhưng $M(R) = \frac{4}{3}\pi\rho R^3$. Do đó $\frac{\left(\frac{dR}{dt}\right)^2}{2} - \frac{4}{3}\pi G\rho R^2 = k$

Chia phương trình này cho R^2 và nhân với 2, ta có:

$$\left(\frac{\frac{dR}{dt}}{R}\right)^2 - \frac{8\pi}{3}G\rho = \frac{2k}{R^2}$$

$$\left[\frac{\frac{dR}{dt}}{R}\right]^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{2k}{R^2}$$

$$\frac{\frac{dR}{dt}}{R} = \left(\frac{8\pi G\rho}{3} + \frac{2k}{R^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(XI–4)}$$

Phương trình này có ý nghĩa gì? khi $R \geq 0$. Nếu chúng ta xuất phát từ điều kiện ban đầu với $(dR/dt)/R > 0$ (mở rộng) thì khi ấy:

$k = 0$ có nghĩa là $(dR/dt)/R$ sẽ luôn luôn lớn hơn 0.

$k > 0$ có nghĩa là $(dR/dt)/R$ cũng luôn luôn lớn hơn 0.

$k < 0$ có nghĩa là $(dR/dt)/R$ có thể bằng không và mở rộng "quay xung quanh". Phương trình XI–4 thực chất là dạng năng lượng của phương trình vận tốc thoát có dạng là:

$$v_{thoát} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Vậy: $$\frac{v_{thoát}}{R} = \sqrt{\frac{8}{3}\pi G\rho}$$

tức là phương trình XI.4 đối với trường hợp $k = 0$ (tổng năng lượng bằng không ở vô cực). Ở đây cho thấy sự mô tả động lực học vũ trụ dưới dạng vi phân của cơ học Newton. Nếu ρ bé thì mô hình này mở rộng mãi mãi, nhưng nếu ρ lớn hơn giá trị tới hạn vận tốc mở rộng có thể bé hơn vận tốc thoát và vũ trụ có thể sẽ suy sụp.

II– VŨ TRỤ HỌC THEO THUYẾT TƯƠNG ĐỐI RỘNG

Với thuyết tương đối rộng, năm 1915, Einstein đã thay lực vạn vật hấp dẫn bằng việc liên kết giữa hình học không thời gian với vật chất chứa trong vũ trụ. Ông lưu ý rằng, Newton định nghĩa khối lượng bằng hai phép tính khác nhau: Định luật II Newton và định luật vạn vật hấp dẫn.

Giả sử khi biết lực đặt lên một vật và đo được gia tốc mà vật ấy thu được, từ định luật II Newton ta biết được khối lượng của vật, khối lượng này là khối lượng quán tính. Bây giờ cũng xét vật ấy, trọng lượng của nó là lực hấp dẫn tác dụng lên vật. Khối lượng xác định bằng phương pháp này được gọi là khối lượng hấp dẫn. Newton cho rằng khối lượng quán tính của vật và khối lượng hấp dẫn của nó là một. Khi biết thí nghiệm các vật rơi tự do ông đã tự mình làm lại thí nghiệm này một cách cẩn thận, kết quả cho thấy ở gần mặt đất tất cả các vật có khối lượng khác nhau rơi xuống cùng một gia tốc. Về thực

nghiệm sự tương đương của khối lượng hấp dẫn và quán tính là thực tế có độ chính xác rất cao. Do giới hạn độ nhạy của các phương pháp thử, chưa bao giờ phát hiện được sự khác nhau. Thí nghiệm tốt nhất do V.B. Braginsky và V.I. Panov tiến hành ở Trường Đại học tổng hợp Matxcơva đã phát hiện khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn của vàng và bạch kim là như nhau trong khoảng một phần triệu triệu ($1/10^{12}$). Einstein cảm nhận được rằng, có sự tương đương giữa khối lượng quán tính và khối lượng hấp dẫn không phải tình cờ. Ông nhận thấy đó là sự kiện cơ bản về vũ trụ và cho nó một vị trí đặc biệt trong thuyết tương đối rộng như là nguyên lý tương đương.

Đây là ví dụ của Einstein đưa về nguyên lý tương đương. Hãy tưởng tượng chúng ta đang ở trong một tàu vũ trụ trên Trái Đất, tiến hành đo gia tốc của nó và thấy rằng nó rơi hoàn toàn đúng gia tốc $9{,}8m/s^2$. Bây giờ giả thiết rằng, chúng ta không biết chúng ta cùng con tàu đang được đưa vào vũ trụ với gia tốc không đổi là $9{,}8m/s^2$. Chúng ta tiếp tục thí nghiệm, không có gì thay đổi về gia tốc của vật rơi tự do, nó vẫn là $9{,}8m/s^2$. Chỉ có nhìn qua cửa sổ chúng ta mới biết rằng, chúng ta đã rời khỏi Trái Đất. Chúng ta không thể bằng thí nghiệm để phân biệt được khối lượng hấp dẫn và khối lượng quán tính vì trong ví dụ trên gia tốc rơi tự do ở mặt đất là do hấp dẫn còn gia tốc đo được trên con tàu vũ trụ là gia tốc do quán tính (lực quán tính) nguyên lý tương đương cho phép loại bỏ trọng lực trong một nơi. Khi đứng trong thang máy một toà nhà cao nhiều tầng và cho thang máy rơi tự do, chúng ta nhận thấy không có trọng lượng. Còn khi ở trong trạng thái không trọng lượng trên trạm vũ trụ dùng máy quay gia tốc thì có thể tạo ra một nơi có trọng lượng.

Hãy tưởng tượng bằng bất cứ cách nào đào một con đường hầm xuyên qua tâm Trái Đất, cho thang máy đi qua không bị chạm đất mà có thể rơi tự do xuyên qua Trái Đất sang bên kia rồi quay lại cứ một vòng mất khoảng 84 phút.

Trong suốt thời gian thang máy rơi tự do từ hai phía của quá trình dao động thì ở trong thang máy không có trọng lượng nên không cớ gia tốc, thậm chí nó đã đi xuyên qua tâm Trái Đất. Nhớ rằng khi thả hai vật từ hai phía đi qua đường hầm chúng đều thực hiện hai chuyển động điều hoà với chu kỳ 84 phút. Tính tương đối của mỗi vật là đường cong (hình XI.1). Thí nghiệm này chứng minh rằng, không – thời gian trong phạm vi Trái Đất là cong. Trong thuyết tương đối rộng của

Einstein, sự phân bố khối lượng (và năng lượng) được xác định bằng hình học không – thời gian. Một vật có khối lượng rất lớn gây nên sự uốn cong không – thời gian ở gần đó. Sự uốn cong được thể hiện bởi chuyển động có gia tốc. Điều này Newton cho rằng, nguyên nhân là lực hấp dẫn. Nói một cách khác, độ cong không – thời gian tỷ lệ với mật độ khối lượng – năng lượng. Bởi vậy các mô hình vũ trụ học có thể xây dựng bằng sự đánh giá đúng một cách hợp lý loại và lượng vật chất chứa trong vũ trụ; các phương trình của thuyết tương đối rộng lúc đó là sản phẩm của sự vận dụng quy luật tiến hoá của mô hình.

***Hình XI.1.** Chuyển động của hai khối lượng rơi xuyên qua Trái Đất, mỗi dao động thực hiện trong khoảng 84 phút.*

1. Các kết quả hình học

Mặc dầu cơ sở lý thuyết có thể quy cho Einstein, nhưng ông không khảo sát các mô hình động lực học như sau đây về vũ trụ mà người đầu tiên nêu vấn đề tương đối khó hiểu là nhà toán học Nga A. Friedman và chỉ được chú ý sau khi Hubble phát hiện sự nở rộng của vũ trụ.

Hãy khảo sát thuyết tương đối rộng, chúng ta có thể viết phương trình XI–1 dưới dạng tổng quát như sau:

$$dl^2 = \sum_{\mu=1}^{4} \sum_{\nu=1}^{4} g_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu} \qquad \text{(XI–5)}$$

Đây là phương trình tenxơ với ma trận $g_{\mu\nu}$ được gọi là metric không – thời gian. Chúng ta có thể thấy rằng, từ phương trình XI–5 có thể thu được phương trình XI–1 nếu $g_{\mu\nu} = 0$ với $\mu \neq \nu$ và nếu $g_{11} = g_{12} = g_{33} = -1$ và $g_{44} = +1$. Độ lệch khỏi metric phẳng của thuyết tương đối hẹp biểu diễn không – thời gian bị uốn cong. Ví dụ ở gần bề mặt một sao nơtron các thành phần của metric lệch khỏi giá trị phẳng khoảng 10%.

Theo các mô hình Friedman chúng ta phải giả thiết rằng, vũ trụ đẳng hướng và đồng nhất. Giả thiết này rất quan trọng và được gọi là

nguyên lý vũ trụ học. Chúng ta cũng cần giả thiết rằng vận tốc ánh sáng là hữu hạn và không đổi.

Bây giờ chúng ta có thể viết biến thể riêng của metric của vũ trụ. Từ các giả thiết, biểu thức khá tổng quát có tên gọi là Robertson – Walker metric:

$$dl^2 = c^2dt^2 - R(t)^2\left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2\left(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2\right)\right] \quad \text{(XI–6)}$$

Trong phương trình này r, θ và ϕ là các toạ độ cùng chuyển động. Chúng đều cố định trong các thiên hà và đều không thứ nguyên. Còn k về hình thức là thông số tự do và có thể có các giá trị –1, 0 hoặc +1, nó mô tả không gian cong là dương, không hay âm. Hàm R(t) là kích thước độ lớn có thứ nguyên chiều dài và nó biểu diễn vũ trụ động lực học nếu có sự biến đổi theo thời gian.

Các khoảng cách và các toạ độ

Đại lượng r trong phương trình XI–6 không phải là khoảng cách đo được giữa hai điểm. Để tìm khoảng cách chúng ta cần lấy tích phân sau:

$$l = \int_0^r dl = R(t)\int_0^r \frac{dr}{\sqrt{1-kr^2}} = \begin{Bmatrix} R\sin^{-1} r; & k=+1 \\ Rr; & k=0 \\ R\sinh^{-1} r; & k=-1 \end{Bmatrix} \quad \text{(XI–7)}$$

Ở đây chúng ta đã quay hệ toạ độ để cho θ = ϕ = 0 nhưng không làm mất tính khái quát.

Tiếp theo khảo sát đường đi của các photon theo đường trắc địa số không được định nghĩa là $dl^2 = 0$. Từ phương trình XI–6 chúng ta thấy rằng:

$$\int_0^r \frac{dr}{\sqrt{1-kr^2}} = c\int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R(t)} \quad \text{(XI–8)}$$

Sử dụng phương trình XI–7 chúng ta tìm được:

$$\begin{Bmatrix} \sin^{-1} r \\ r \\ \sinh^{-1} r \end{Bmatrix} = c\int_{t_1}^{t_0} \frac{dt}{R(t)} \quad \text{(XI–9)}$$

Trong đó t_0 là thời gian phát hiện photon và t_1 là thời gian phát xạ.

Sau đây chúng ta đưa ra hai biểu thức quan trọng.

Biểu thức thứ nhất được gọi là phương trình Lemaitre.

$$1 + z = \frac{R_0}{R_1} \qquad \text{(XI–10)}$$

Ở đây lại đề cập đến thời điểm phát và nhận photon. Số hạng thứ hai biểu diễn động lực học hình học của vũ trụ (với một chấm là đạo hàm đối với thời gian, hai chấm là đạo hàm hạng hai). Nó là:

$$\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 + \frac{2\ddot{R}}{R} = -\frac{kc^2}{R^2} \qquad \text{(XI–11)}$$

Đến đây chúng ta có thể nghiên cứu mô hình vũ trụ một cách chi tiết. Ví dụ nghiên cứu phương trình XI–11 cho R(t) có thể được liên hệ với độ dịch chuyển về phía đỏ quan sát được và toạ độ r cho bởi các phương trình XI–10 và XI–9.

Hãy xét một trường hợp riêng của phương trình XI–11 đối với không gian phẳng. Khi ấy k = 0 và chúng ta tìm được

$$R(t) = R(t_0)\left(\frac{t_1}{t_0}\right)^{2/3} \qquad \text{(XI–12)}$$

Kết quả này rất quan trọng, nó chỉ ra rằng sự giãn nở sau này có khả năng theo một dạng quy luật của mô hình vũ trụ này. Hình XI.2 minh hoạ R(t) đối với ba mô hình, mỗi một đường có thể cho thấy quy luật nở rộng được giữ gần như hai mô hình kia trong mỗi pha của vũ trụ (như hiện nay) là đúng.

Hình XI.2. *Động lực học các mô hình vũ trụ, đối với các mô hình đẳng hướng đồng nhất, các khoảng cách thay đổi theo thời gian phụ thuộc hình học tổng thể (mở, phẳng, hay đóng).*

Xét kết quả một cách thuần tuý hình học, nhận thấy rằng, cả ba biểu thức ở vế phải phương trình XI–7 gần với Rr khi r << 1. Do đó l = R(t)r.

Khi ấy khoảng cách đo được bằng thừa số kích thước vũ trụ nhân với khoảng cách toạ độ. Bấy giờ vận tốc đúng là đạo hàm khoảng cách theo thời gian.

$$v = \dot{l} = \dot{R}r$$

nhưng $$\dot{R}r = \frac{\dot{R}}{R}l$$

Vậy $$v = \frac{\dot{R}}{R}l \qquad \text{(XI–13)}$$

Khảo sát lượng $\frac{\dot{R}}{R}$, nó có thứ nguyên t^{-1}, chính là thứ nguyên hằng số Hubble.

Vậy $$H = \frac{\dot{R}}{R}. \qquad \text{(XI–14)}$$

Phương trình XI–13 biểu diễn định luật Hubble, mà phép đạo hàm với giả thiết đồng nhất và đẳng hướng, cần nhớ rằng lấy đạo hàm gần đúng với $r << 1$, song ở những khoảng cách lớn dạng đơn giản của định luật Hubble có thể không được giữ nguyên, đây là điều quan trọng để suy xét các loại mô hình.

2. Giải các phương trình trường của Einstein

Sự liên kết không – thời gian và vật chất được đề cập trong các phương trình trường của Einstein, tương đương một tenxơ được xây dựng từ $g_{\mu\nu}$ và đạo hàm một tenxơ khác, tenxơ năng lượng – ứng suất, nó biểu diễn vật chất. Nói một cách đơn giản, điều này có nghĩa nó biểu diễn không – thời gian cong và chúng ta giải thích các chuyển động cong của các hạt trong không gian cong có các gia tốc gây nên bởi lực như trong trường hợp trọng lực.

Nếu metric Robertson – Walker được dùng trong các phương trình trường và chúng ta chỉ dùng các phương trình này đối với $\mu = \nu$ thì được ba phương trình không gian tương tự.

$$\frac{8\pi GP(t)}{c^4} = \frac{k}{R_0^2}\left(\frac{R_0}{R}\right) - \frac{2}{c^2}\left(\frac{\ddot{R}}{R}\right) - \frac{1}{c^2}\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 + \wedge \qquad \text{(XI–15)}$$

Và phương trình thời gian tương tự:

$$\frac{8\pi GU(t)}{c^4} = \frac{3k}{R_0^2}\left(\frac{R_0}{R}\right)^2 + \frac{3}{c^2}\left(\frac{\dot{R}}{R}\right)^2 - \wedge \qquad \text{(XI–16)}$$

Trong đó P(t) và U(t) là các thành phần liên quan về vật lý lần lượt là áp suất đo được và nội năng của vũ trụ, theo tenxơ năng lượng

ứng suất; R_0 là giá trị biểu diễn R, còn $\wedge$ là hằng số vũ trụ. Về hình thức $\wedge$ là hằng số của kết quả tích phân từ việc giải các phương trình trường dưới dạng vi phân. Einstein đưa $\wedge$ vào để cho lời giải xác định, khi mà ông không biết về định luật Hubble vào thời gian ông đưa ra thuyết tương đối rộng, $\wedge$ có giá trị bằng không.

Thông qua biến đổi đại số các phương trình XI–15 và XI–16 đi đến:

$$\frac{\ddot{R}}{R} = \frac{-4\pi G}{c^2}\left[P + \frac{U}{3}\right] + \wedge\frac{c^2}{3} \qquad \text{(XI–17)}$$

và

$$\frac{d}{dt}(UR^3) = -P\frac{d(R^3)}{dt} \qquad \text{(XI–18)}$$

Chú ý rằng phương trình XI–18 là một dạng của định luật thứ nhất nhiệt động lực học. Nếu chúng ta đơn giản hoá các phương trình XI–17 và XI–18 với giả thiết rằng $\wedge = 0$, $P = 0$ và $U = \rho c^2$ (tất cả đều hợp lý) thì chúng ta tìm được:

$$-\frac{\ddot{R}}{R} = \frac{4\pi G\rho}{3c^2} \qquad \text{(XI–19)}$$

và

$$\frac{d}{dt}(\rho R^3) = 0 \rightarrow \rho_0 R_0^3 = \rho R^3 \qquad \text{(XI–20)}$$

Chú ý rằng có sự tương tự giữa phương trình XI–19 với kết quả của vũ trụ học Newton. Trong cả hai trường hợp, sự giãn nở xung kích sẽ giảm dần bởi ρ và dừng lại nếu ρ đủ lớn, cũng chú ý rằng phương trình XI–20 mô tả sự bảo toàn khối lượng đối với vũ trụ xem như toàn bộ.

3. Các mô hình vũ trụ

Chúng ta thấy rằng, có thể có các mô hình lý thuyết về vũ trụ, có mô hình chỉ có tính chất hình học, có mô hình liên kết giữa tính chất hình học với vật chất chứa trong đó.

Sự khác biệt lớn nhất về hình học được xác định bởi giá trị của k. Đại lượng này theo đại số nó chi phối hình dạng của vũ trụ. Đối với $k = -1$, về hình học nó tương tự hình cầu, ví dụ tổng các góc trong của một tam giác có thể lớn hơn 180°. Trái lại với $k = +1$, về hình học có hình yên ngựa với các góc trong tam giác có tổng bé hơn 180°. Nếu $k = 0$ thì vũ trụ là phẳng. Hình XI.2 biểu diễn hàm R(t) đối với ba khả năng của vũ trụ có thể xảy ra. Vũ trụ mở sẽ giãn nở ra mãi mãi, vũ trụ kín có thể sẽ dừng giãn nở và co lại. Vũ trụ phẳng sẽ nằm trung gian giữa hai

trạng thái kia. Chú ý rằng trong mỗi pha giãn nở cả ba mô hình đều rất giống nhau. Tất cả đều giãn nở theo một cách vận động có quy luật nên thật khó phân biệt. Hiện nay chúng ta đang ở trong trạng thái vũ trụ đang giãn nở nên rất khó khẳng định theo mô hình nào.

Khi chúng ta không cố gắng tưởng tượng các tính chất khái quát của vũ trụ mở có nơi có dạng hình yên ngựa thì cũng khó hình dung vũ trụ đóng. Khảo sát một quả bóng được thổi phồng lên, không biết được sự mở khi đi trên bề mặt tức là khảo sát trong không gian hai chiều chỉ có thể biết độ cong khi đi vào chiều thứ ba. Tương tự trong không gian ba chiều sẽ biết được độ cong trong không – thời gian 4 chiều mà ở đó không xác định được tâm của mặt quả bóng và sự giãn nở đều theo định luật Hubble đối với các thiên hà tưởng tượng được vẽ lên mặt quả bóng. Một du khách có thể đi mãi trên bề mặt mà không bao giờ rời khỏi đó nhưng một người khác có thể đi theo mọi hướng vẫn có khả năng đi tới một điểm gần nơi xuất phát, cũng cần nhớ rằng tam giác được vẽ trên mặt cầu có tổng các góc lớn hơn 180°.

Có nhiều cách về hình thức coi quả bóng tương tự với vũ trụ thực. Điều khó hiểu nhất có lẽ là vũ trụ không có tâm. Chúng ta không thể nhận diện được một điểm duy nhất trong không gian mà từ đó toàn bộ các điểm khác được bung ra. Bởi vì không – thời gian đều cong và vũ trụ tự giãn nở trong không – thời gian, mọi điểm trong vũ trụ được quan sát đều đi từ một điểm kỳ dị ban đầu. Về nguyên tắc chúng ta có thể xác định hình dạng thuần tuý hình học của vũ trụ. Để làm điều này đã được chứng minh là rất khó. Các thử nghiệm đã được đề xuất bằng cách khảo sát cấp sao của các thiên hà, đường kính, bề mặt phát quang,... như là hàm số của sự dịch chuyển về phía đỏ. Nếu các thiên hà có các tính chất như nhau thì phương pháp này có thể thực hiện được việc đánh giá các mô hình vũ trụ, nhưng các thiên hà lại đa dạng lạ kỳ và chúng ta lại không biết được các tính chất của chúng thay đổi theo thời gian. Cho nên khi chúng ta nhìn về quá khứ của vũ trụ thì thấy các đối tượng dịch chuyển mạnh về phía đỏ chỉ phù hợp hình ảnh về hình học là ở xa.

Cuối cùng chúng ta cần nhớ rằng, H_0 có thể liên hệ với các tính chất hình học theo phương trình XI–14. Chúng ta biết rằng, H không phải là hằng số vĩnh cửu. Do đó cũng cần phải biết diễn tả sự giãn nở chậm dần của vũ trụ. Một cách thuần tuý hình học, thông số chậm dần được xác định như sau:

$$q_0 = -\frac{\ddot{R}_0}{R_0 H_0^2} \qquad \text{(XI–21)}$$

Các đặc tính vật lý

Các phương trình XI–15 đến XI–20 liên hệ các đặc tính hình học của vũ trụ với các đặc tính vật lý quan trọng như áp suất, mật độ và năng lượng trong đó. Cho nên, về nguyên tắc chúng ta lại có thể xác định hiệu quả các mô hình vũ trụ nếu chúng ta đo được chính xác mật độ trung bình của vũ trụ.

Cần viết các phương trình tương tự như XI–14 và XI–21 nhưng phải bao gồm cả mật độ. Chúng ta không bị gò ép gắn với lý thuyết về nguồn gốc giãn nở, bởi vậy giá trị hiện nay của hằng số Hubble không gắn chặt với điều đó. Dù thế nào đi nữa chúng ta cũng biết rằng, mật độ vũ trụ không khác xa mật độ chuẩn $\rho_c = 5.10^{-27} kg/m^3$ (đối với vũ trụ phẳng). Trong trường hợp này chúng ta có thể viết:

$$H = \left[(8\pi G/3)\rho_c\right]^{1/2} \qquad \text{(XI–22)}$$

Vậy chúng ta có thể viết biểu thức riêng đối với thông số chậm dần

$$q_0 = 4\pi G\rho / 3H^2 \qquad \text{(XI–23)}$$

Rõ ràng rằng, nếu chúng ta đo được H_0 và q_0 một cách chính xác thì chúng ta có thể biết được mật độ trung bình của vũ trụ. Nếu $\rho_c < 1$ thì vũ trụ có thể là mở, nếu $\rho_c > 1$ là đóng nếu $\rho_c = 1$ thì vũ trụ là phẳng.

Khó khăn khi đánh giá mật độ vật chất trong vũ trụ là gì? Đó là việc xác định lượng vật chất đen. Lượng vật chất mà thường xuyên quan sát được chỉ chiếm một tỷ lệ rất thấp. Việc đánh giá trực tiếp một cách chính xác sự đóng góp của vật chất đen vào mật độ trung bình của vũ trụ còn rất khó khăn.

III– BIG – BANG (VỤ NỔ LỚN) VÀ NHỮNG VẤN ĐỀ VŨ TRỤ HỌC HIỆN ĐẠI

1. Mô hình vũ trụ Big – Bang ra đời

Mô hình vũ trụ được hình thành từ một Vụ nổ lớn được Georgic Gamov (1904 – 1968), nhà thiên văn Mỹ gốc Nga cùng cộng sự đề xướng vào giữa thế kỷ XX. Mô hình này cho rằng vật chất trong vũ trụ không thể được tạo ra cũng không thể bị huỷ đi một cách tự phát, ít nhất vũ trụ cũng có một sự khởi đầu. Khoảng 15 tỉ năm về trước, khi vũ trụ được tạo thành, vật chất được tập trung trong một trạng

thái có nhiệt độ và mật độ lớn vô cùng. Sau một Vụ nổ lớn thì giãn nở nên loãng ra và nguội dần.

Vì sao mô hình Big–Bang được thừa nhận?

Lý thuyết Big–Bang khá phù hợp với các kết quả quan sát.

Các công trình liên quan đến số lượng các nguồn vô tuyến trong vũ trụ cho thấy số lượng quasar và thiên hà vô tuyến trong quá khứ lớn hơn hiện tại vì đại bộ phận quasar ở rất xa chứng tỏ rằng vũ trụ đã tiến hoá và mật độ giảm theo thời gian. Tính phổ biến của hêli chiếm tới khoảng 25% tổng khối lượng vật chất trong vũ trụ chứng tỏ phù hợp với kết quả tiên đoán theo mô hình Big–Bang. Một chứng cứ quan trọng chứng minh cho giả thuyết Big–Bang là các nhà thiên văn vô tuyến khám phá ra bức xạ nền (bức xạ tàn dư) từ mọi hướng đều như nhau vào năm 1965. Bức xạ vô tuyến nhiệt yếu như có mặt ở khắp mọi nơi này có phổ bức xạ của vật đen ở nhiệt độ 2,7K. Toàn bộ vũ trụ chìm đắm trong bức xạ này. Đây là tàn dư của một vụ nổ cực lớn. Lúc đầu vũ trụ vô cùng nóng, nay trở nên rất lạnh do quá trình giãn nở. Lúc lý thuyết Big–Bang mới ra đời không thể giải thích được tất cả các sự kiện quan sát được trong vũ trụ, song lý thuyết này được hoàn thiện và điều chỉnh dần dần cho phù hợp với các kết quả quan sát.

Ngoài định luật Hubble chứng tỏ rằng các thiên hà đang lùi ra xa, còn có một sự kiện khác có thể giải thích như là hệ quả của vũ trụ đang giãn nở. Đó là bầu trời ban đêm ở xa dải Ngân Hà đều rất tối. Nhà thiên văn Olberg, ở đầu thế kỷ XIX trên cơ sở vũ trụ tĩnh và vô hạn trong đó các sao phân bố đều đã nhận xét rằng bất kỳ đường ngắm nào từ Trái Đất cũng sẽ gặp một ngôi sao, do đó bầu trời ban đêm phải sáng đều như bề mặt một ngôi sao. Lập luận này dẫn đến một kết luận mâu thuẫn với thực tế mà chúng ta quan sát được, đó là bầu trời ban đêm quả thật rất tối. Nghịch lý này được gọi là nghịch lý Olberg và có thể giải thích một phần bằng sự giãn nở của vũ trụ. Do vũ trụ giãn nở các sao ở trong các thiên hà đang chạy rất nhanh ra xa chúng ta. Điều này dẫn đến ánh sáng dịch về phía đỏ nghĩa là bước sóng tăng, dẫn đến sự giảm năng lượng của photon được xuất phát từ bề mặt các sao hay thiên hà ở xa. Hiệu ứng này góp phần làm mờ ánh sáng của bầu trời ban đêm. Ngoài ra thời gian tồn tại của các sao không phải vô hạn. Theo ước tính bầu trời ban đêm sẽ sáng đều nếu các sao có thể tồn tại khoảng 10^{24} năm trong lúc tuổi của vũ trụ cho đến ngày nay chỉ vào khoảng $1,5.10^{10}$ năm.

2. Vũ trụ lúc sơ khai

Theo mô hình Big–Bang, vũ trụ được tạo ra ở một điểm kỳ dị về không gian. Sự tồn tại này trong không – thời gian có thể được xem là một trở ngại của lý thuyết này, giống như kỳ dị trong toán học, các tính chất vật lý của vũ trụ không xác định ở kỳ dị này. Chúng ta không biết điều gì xảy ra một cách chính xác ở Vụ nổ lớn và càng không biết về trước thời điểm đó. Vật lí lý thuyết hiện đại cho phép các nhà thiên văn đi ngược lại theo thời gian và trong không gian không phải tới Vụ nổ lớn một cách chính xác mà chỉ cho phép đi ngược tới 10^{-43} giây sau vụ nổ lớn, trước thời điểm này được gọi là thời gian Planck. Khi ấy vũ trụ ở trong trạng thái hỗn mang, trong đó có những thăng giáng lượng tử. Lý thuyết cơ học lượng tử được sử dụng để mô tả cấu trúc vi mô sâu xa của vật chất. Vì chưa có lý thuyết đầy đủ về hấp dẫn lượng tử nên việc mô tả các biến cố xảy ra trong kỷ nguyên Planck (sớm hơn 10^{-43}s) đều là suy đoán. Ở thời điểm Planck, vũ trụ đậm đặc, vào khoảng 10^{96}kg/m^3, đến mức toàn bộ vật chất được chứa trong một thể tích có đường kính chỉ vài micromet. Nhiệt độ vũ trụ khi đó cũng vô cùng cao, đạt tới giá trị 10^{31}K. Thời điểm Planck, khi mà giá trị của các điều kiện vật lý không phân biệt được với vô hạn có thể được xem là gốc thời gian trong các mô hình vũ trụ học.

Lúc sơ khai vũ trụ chìm đắm trong một môi trường bức xạ mạnh, các hạt sơ cấp mang năng lượng lớn. Bức xạ dưới dạng tia gamma, các photon có năng lượng lớn hơn tia X, khi một hạt sơ cấp gặp một phản hạt và tự huỷ. Ngược lại, khi nhiệt độ của bức xạ lớn hơn nhiệt độ tương ứng với năng lượng của một cặp hạt – phản hạt thì cặp hạt – phản hạt có thể được tạo ra từ bức xạ. Để một cặp electron – pozitron được tạo ra, cần một năng lượng tối thiểu là 1 MeV (một triệu electron – vôn) tương đương nhiệt độ 10^{10}K. Trong khi vũ trụ còn nóng hơn 10^{10}K thì đó là một hỗn hợp gồm các photon, các hạt và phản hạt. Nhưng vài giây sau Vụ nổ lớn nhiệt độ bức xạ không còn đủ cao để sinh ra các hạt và phản hạt, còn các hạt và phản hạt tiếp tục sự huỷ, nên vũ trụ gồm chủ yếu là photon. Nhưng vì số lượng các hạt lớn hơn số lượng các phản hạt nên số lượng hạt còn lại sau quá trình huỷ đã tạo nên vũ trụ mà ngày nay chúng ta quan sát. Còn tại sao phản hạt lại ít hơn số lượng hạt để có sự dôi thừa vật chất so với phản vật chất vẫn còn là một vấn đề chưa được giải quyết.

Không một máy gia tốc khổng lồ nào có thể tạo ra các điều kiện

vật lý như lúc vũ trụ mới sơ khai nên các nhà vật lý nghiên cứu các hạt sơ cấp rất quan tâm.

Một phút sau Vụ nổ lớn, nhiệt độ giảm xuống 10^9K, các phản ứng tổng hợp hạt nhân được bắt đầu. Trong kỉ nguyên tổng hợp hạt nhân này, các nơtron bắt giữ các proton để tạo ra hiđrô nặng – đơtêri, các hạt nhân này lại bắt giữ các nơtron để tạo thành triti, sản phẩm cuối cùng của quá trình này là hạt nhân hêli.

Bức xạ có vai trò quan trọng trong động lực học vũ trụ lúc sơ khai, là vì mật độ năng lượng bức xạ lớn hơn mật độ năng lượng của vật chất. Ngoài ra, nhiệt độ cao đến mức làm cho vật chất bị ion hoá ở trạng thái plasma, các photon không thể lan truyền một cách tự do mà không tương tác với các electron, môi trường ion hoá là không trong suốt. Khi vũ trụ giãn nở, nhiệt độ giảm dần. Sau Big–Bang khoảng 300000 năm nhiệt độ giảm xuống tới khoảng 4000K. Khi ấy các electron bắt đầu liên kết với các ion để tạo ra các nguyên tử trung hoà, đặc biệt là các nguyên tử hiđrô. Kỷ nguyên tái hợp giữa các ion và electron được kết thúc khi vũ trụ đã qua khoảng một triệu năm tuổi. Đến lúc đó, các electron tự do còn lại quá ít, không cản trở sự lan truyền bức xạ, nên vũ trụ trở nên trong suốt, ánh sáng có thể lan truyền tự do khắp nơi trong vũ trụ.

3. Bức xạ viba nền (phông) vũ trụ

Năm 1965, Arno Penzias và Robert Wilson ở phòng thí nghiệm mà nay được gọi là phòng thí nghiệm AT & T Bell đã thử nghiệm một máy thu viba nhạy dùng cho các nghiên cứu về truyền thông. Họ đã phát hiện một bức xạ nền đẳng hướng từ mọi phương trên bầu trời, có cường độ bé và không đổi khi họ quay anten về bất cứ hướng nào. Chẳng bao lâu Penzias và Wilson mới hiểu ra rằng, họ đã quan sát được bức xạ viba nền được phát ra ở giai đoạn đầu của vũ trụ và đang choán đều trong toàn bộ không gian. Các quan sát trên một dải rộng của phổ vô tuyến từ bước sóng mét đến các bước sóng dưới milimet đã được tiến hành sau đó để nghiên cứu bản chất của bức xạ vũ trụ này. Các kết quả cho thấy, các số liệu rất khớp với đường cong Planck ở nhiệt độ 2,726 ± 0,010K (phổ các bức xạ như là một hàm của nhiệt độ).

Các số liệu này bao gồm các số liệu thu được từ vệ tinh COBE (Cosmic Background Explorer) của NASA được phóng lên năm 1989 và được thiết kế riêng cho công trình nghiên cứu này ở các bước sóng milimet và dưới milimet.

Bức xạ nền đến từ vũ trụ trở nên trong suốt vào cuối kỷ nguyên tái hợp. Khi vũ trụ giãn nở, bức xạ giữ nguyên dạng của phổ Planck, ngay cả khi nhiệt độ đã giảm xuống từ khoảng 3000K xuống 2,7K như đã quan sát được hiện nay. Theo định luật dịch chuyển Wien: λ_{max} T = hằng số, bước sóng của bức xạ có cường độ cực đại đã tăng khoảng 1000 lần. Phổ bức xạ nền của vũ trụ ở tuổi một triệu năm đã dịch chuyển về phía đỏ khoảng 1000 lần. Người ta cho rằng kỉ nguyên tái hợp xảy ra ở độ dịch chuyển về phía đỏ chỉ vào khoảng 5. Do đó các quan sát bức xạ vật đen vũ trụ ở nhiệt độ 2,7K là tư liệu có một không hai để nghiên cứu vũ trụ lúc chỉ mới khoảng một triệu năm tuổi. Các quan sát bức xạ vật đen vũ trụ cho phép chúng ta đi ngược thời gian xa hơn rất nhiều so với các quan sát bất kỳ thiên thể nào hiện có trong vũ trụ. Bức xạ nền phải chứa mầm mống các Thiên Hà mà chúng ta quan sát được hiện nay trong vũ trụ. Các dụng cụ đặt trên vệ tinh COBE đã phát hiện bức xạ nền vũ trụ có những thăng giáng rất yếu về cường độ tương ứng với trạng thái các thiên hà và các đám thiên hà đang phôi thai.

4. Sự hình thành Thiên Hà

Trước khi vũ trụ có 300000 năm tuổi, để có các electron, proton nơtron thì tương tác mạnh có vai trò chính. Nhưng khi đã có các nguyên tử trung hoà thì tương tác hấp dẫn đóng vai trò quan trọng, vật chất được dồn lại để tạo nên các thiên hà, các đám thiên hà và siêu đám thiên hà và chúng tồn tại đến nay mà chúng ta quan sát được. Vấn đề các thiên hà được hình thành như thế nào là một vấn đề quan trọng song đang còn gây tranh cãi. Người ta tin rằng các thiên hà đã được phôi thai từ các thăng giáng mật độ ở quy mô lớn trong vũ trụ nguyên thuỷ.

Nếu vũ trụ không đồng nhất thì dấu vết của sự không đồng nhất này phải thể hiện như là những thăng giáng nhiệt độ trong bức xạ nền vũ trụ. Mặc dù đã có nhiều cố gắng quan sát để phát hiện sự thăng giáng bức xạ nền nhưng chưa có kết quả. Đến năm 1992 khi các nhà thiên văn sử dụng vệ tinh COBE để quan sát bức xạ nền viba mới phát hiện ra sự thăng giáng rất yếu. Các thăng giáng này chỉ vào cỡ 30μK (10^{-5}K). Từ sự thăng giáng nhiệt độ với các quy mô khác nhau sẽ có sự thăng giáng mật độ tương ứng. Các nghiên cứu lý thuyết cho rằng, các thăng giáng này chứa từ 10^5 đến 10^{12} khối lượng

Mặt Trời, tương ứng với khối lượng của các đám sao và các thiên hà. Các thăng giáng này là mầm mống của các thiên hà và các cấu trúc quy mô lớn khác mà chúng ta quan sát hiện nay.

5. Vấn đề khối lượng ẩn trong vũ trụ

Mật độ vật chất trong vũ trụ quyết định vũ trụ đóng hay mở.

Lực hấp dẫn là lực phổ biến chi phối sự tiến hoá của vũ trụ. Lực này tăng lên theo mật độ vật chất trong vũ trụ. Theo mô hình vũ trụ của Friedman, mật độ vượt quá mật độ tới hạn $\rho_c \sim 10^{-26}kg/m^3$ (đối với giá trị của H = 65km/s/Mps) thì lực hấp dẫn sẽ thắng thế và vũ trụ là đóng. Nếu mật độ vật chất bằng hay thấp hơn ρ_c thì vũ trụ là mở. Mật độ tới hạn tương ứng với 6 nguyên tử hiđrô trong một mét khối.

Để xác định mật độ vật chất trong vũ trụ, các nhà thiên văn tính lượng vật chất tạo thành các sao, các hành tinh, khí và bụi giữa các sao tạo thành vật chất trong các thiên hà và số lượng thiên hà được phát hiện nhờ kính thiên văn quang học và kính thiên văn vô tuyến trong không gian đã biết khoảng cách nhờ định luật Hubble. Mặt khác, khối lượng của các thiên hà có thể suy ra từ độ sáng của chúng. Mật độ vật chất chứa trong các thiên hà đặc trưng cho vật chất có thể phát hiện được trong vũ trụ, vào cỡ $10^{-28}kg/m^3$ nghĩa là bé hơn hàng trăm lần mật độ tới hạn. Như vậy vũ trụ là mở, sẽ giãn nở mãi mãi.

Nhưng các nhà thiên văn nghi ngờ rằng, vũ trụ có thể chứa những vật thể không thể phát hiện được bằng kính thiên văn quang học hay vô tuyến trong toàn bộ phổ sóng điện từ, từ sóng vô tuyến đến tia gamma. Khi nghiên cứu động lực học các thiên hà và các đám thiên hà thì thấy rằng chúng phải có khối lượng lớn hơn nhiều so với khối lượng các vật thể quan sát được. Vậy trong vũ trụ phải chứa nhiều vật chất đen không nhìn thấy.

Chẳng hạn các thiên hà riêng lẻ chuyển động một cách ngẫu nhiên với tốc độ rất lớn trong các đám thiên hà mà chúng vẫn không bị phân tán, chứng tỏ các đám thiên hà có khối lượng rất lớn để giữ các thiên hà liên kết với nhau bằng lực hấp dẫn.

Như vậy phải có một khối lượng vật chất không nhìn thấy giữa các thiên hà rất lớn mới có lực hấp dẫn đủ lớn như vậy.

Việc quan sát các thiên hà riêng rẽ cũng chỉ ra rằng, có vật chất không nhìn thấy được tồn tại trong các quầng của các thiên hà.

Khối lượng tổng cộng của vật chất không nhìn thấy (hay vật chất đen hoặc tối) có thể gấp 10 lần khối lượng vật chất nhìn thấy. Nói

cách khác 90% khối lượng trong vũ trụ là vật chất đen. Bản chất vật chất đen là gì, được cấu tạo như thế nào, gồm những hạt sơ cấp gì? là đối tượng nghiên cứu gây tò mò không chỉ đối với các nhà vũ trụ học mà còn cả các nhà vật lý làm việc trong lĩnh vực vật lý hạt sơ cấp.

Chúng ta biết rằng các ngôi sao có khối lượng lớn khi hết nhiên liệu sẽ suy sụp và có thể trở thành lỗ đen không nhìn thấy. Trung tâm của các thiên hà là nơi ẩn náu của các lỗ đen khổng lồ. Các thiên thể này được xem là các động cơ trung tâm sản sinh ra năng lượng khổng lồ của các quasar. Các sao lùn nâu là những thiên thể lạnh, nằm trong vùng quầng của các Thiên Hà, chỉ phát ra các bức xạ rất yếu ớt, cũng có thể thuộc loại chất đen. Các sao lùn nâu có khối lượng bé hơn một phần mười khối lượng Mặt Trời, không đủ lớn để khởi động phản ứng nhiệt hạt nhân nên không thể bức xạ như một ngôi sao, đó là những ngôi sao không thành và tương tự như các hành tinh khổng lồ. Các lỗ đen và các sao lùn nâu đều có tác dụng lên môi trường xung quanh.

Các lỗ đen là những thiên thể có khối lượng tập trung, mật độ rất lớn nên vận tốc thoát lớn hơn vận tốc ánh sáng, nếu có bức xạ ánh sáng thì các photon ánh sáng cũng bị hút trở lại nên không thể nhìn thấy gọi là lỗ đen, bán kính của lỗ đen mà mọi vật vào trong đó không thể quay lùi mà bị lỗ đen nuốt chửng được gọi là bán kính Schwarzschild (tên nhà Vật lý phát hiện ra bán kính này) và được tính theo công thức $R = \frac{2GM}{c^2}$ trong đó M là khối lượng của lỗ đen, G là hằng số hấp dẫn, c là vận tốc ánh sáng.

Các lỗ đen có lực hấp dẫn rất lớn làm bồi tụ xung quanh chúng một đĩa vật chất có nhiệt độ hàng triệu độ, do đó phát ra tia X, mà tia X bị khí quyển hấp thụ nên chỉ có các trạm vũ trụ bay ngoài khí quyển mới phát hiện được lỗ đen.

Theo tính toán, tổng khối lượng nhìn thấy và khối lượng ẩn đã biết chỉ chiếm 20% mật độ tới hạn cần thiết để đóng kín vũ trụ (vũ trụ tự co lại). Do đó, có lẽ vũ trụ là vô hạn và giãn nở mãi mãi. Tuy nhiên các nhà vũ trụ học và các nhà vật lý hạt sơ cấp đang có những lập luận chứng minh điều ngược lại. Các hạt như nơtrinô có thể góp phần đóng kín vũ trụ vì chúng được coi là có khối lượng và lan truyền rất nhanh, gần bằng vận tốc ánh sáng. Các nhà lý thuyết còn lập luận rằng, vũ trụ có thể bao gồm vật chất được cấu thành từ proton, nơtron

và các loại hạt nhân nguyên tử mà chúng ta quan sát được, mà họ còn cho rằng vũ trụ có thể gồm một lớp các hạt mới nhỏ hơn nguyên tử, hiện nay chưa được biết tới được gọi là các hạt có khối lượng tương tác yếu.

6. Punxa (Pulsar) quay nhanh và việc thăm do sóng hấp dẫn

Người ta biết rằng các punxa được tạo thành trong những vụ nổ sao siêu mới. Theo lý thuyết cổ điển, một vụ nổ xảy ra do suy sụp hấp dẫn và tạo ra một lõi vật chất siêu đậm đặc gồm các nơtron và đang quay có một trường lưỡng cực từ mạnh cỡ 10^4 – 10^8 tesla, có trục nghiêng với trục quay. Các hạt tương đối tính mang điện được gia tốc trong một trường như vậy phát ra bức xạ vô tuyến theo hướng nằm trong một hình nón có trục trùng với trục từ. Vì ngôi sao quay nhanh, thường với chu kỳ 0,2 đến 2 giây nên sự phát xung giống như ngọn hải đăng quay trên mặt biển. Đa số punxa có tuổi vài triệu năm là những thiên thể tương đối trẻ trong thang thời gian vũ trụ. Trong quá trình tiến hoá, cả từ trường và vận tốc của chúng giảm đi.

Gần đây phát hiện được một số punxa có chu kỳ quay rất ngắn cỡ vài miligiây, các punxa quay nhanh có chu kỳ 1,558 miligiây. Sao nơtron loại này có khối lượng như khối lượng Mặt Trời có đường kính cỡ 10km tự quay với tốc độ cực lớn 642 vòng trong một giây, nếu có sao đồng hành nó sẽ hút khí quyển của sao đồng hành làm tăng momen động lượng và sao nơtron có thể được tăng tốc thành một punxa miligiây. Sau khi hiệu đính các yếu tố trong quá trình lan truyền của các xung vô tuyến, người ta thấy rằng, chu kỳ thực của các punxa miligiây cực kỳ ổn định. Nếu dùng các punxa miligiây để xác định thời gian sẽ đạt được độ chính xác 10^{-14} giây/ giây.

Nếu dùng các xung vô tuyến của punxa miligiây thì trong một năm chỉ có sai số bé hơn 0,3 micrô giây trong lúc đó đồng hồ thạch anh đeo tay sai số tới 10 giây. Cần lưu ý rằng độ chính xác đo được của các punxa miligiây bị giới hạn bởi độ chính xác của các đồng hồ nguyên tử tốt nhất được sử dụng trong các thí nghiệm xác định thời gian.

Để phát hiện sóng hấp dẫn cần phải có phương tiện xác định thời gian vô cùng chính xác.

Theo tiên đoán của thuyết tương đối rộng, sóng hấp dẫn được lan truyền với tốc độ ánh sáng và được sản sinh ra trong những vùng có trường hấp dẫn mạnh và các vật thể chuyển động nhanh. Môi trường của các vật thể có khối lượng lớn như các lỗ đen hay các sao nơtron

được bồi tụ vật chất là nguồn sóng hấp dẫn. Các sóng hấp dẫn cũng có thể được sản sinh ra bởi các dây vũ trụ. Dây vũ trụ được cho là những chỗ không đồng nhất trong cấu trúc của vũ trụ nguyên thuỷ. Các dây vũ trụ được xem là các thành phần cơ bản của sự tạo thành các thiên hà. Tuy nhiên, sóng hấp dẫn yếu đến mức cho tới nay nó vẫn không được phát hiện bởi bất kỳ dụng cụ tinh vi nào được chế tạo trong phòng thí nghiệm. Việc phát hiện ra các punxa miligiây với chu kỳ cực ngắn và cực kỳ ổn định đã cho chúng ta một phương tiện mới đầy hứa hẹn để phát hiện sóng hấp dẫn. Về nguyên tắc khi một sóng hấp dẫn đi tới punxa hay Trái Đất, một sự thay đổi trong thời gian tới của xung có thể được phát hiện. Để suy ra được thông tin này, cần phải giảm bớt các sai số hệ thống do các yếu tố khác gây ra. Đặc biệt độ chính xác của chuẩn thời gian có vai trò to lớn trong thí nghiệm này.

Hiện nay người ta đang cố gắng hợp tác quốc tế nhằm phối hợp các đồng hồ nguyên tử tốt nhất để tạo ra một hệ quy chiếu thời gian chuẩn xác nhất.

IV– TỔNG QUAN VỀ VŨ TRỤ HỌC HIỆN ĐẠI

Những thành tựu mới đây về quan sát thiên văn ở quy mô cấu trúc lớn và về việc khám phá các hạt vật lí sơ cấp đã chỉ ra rằng, một số vấn đề tìm hiểu vũ trụ sẽ được giải quyết.

Lý thuyết về lạm phát đã thu được kết quả kỳ diệu trong việc giải thích một số vấn đề. Cho chúng ta thấy vì sao toàn bộ vũ trụ có nhiệt độ nền chung, vì sao các đơn cực từ lại không như nhau, và tại sao mật độ thật là đáng ngạc nhiên gần đến giá trị tới hạn. Bây giờ chúng ta cũng hiểu rằng, ngày nay sự đối xứng giữa vật chất và phản vật chất đã bị phá vỡ ở thuở ban đầu của vũ trụ do vật chất nhiều hơn nên đã phá huỷ hoàn toàn phản vật chất. Tất nhiên còn nhiều vấn đề về vũ trụ học đang được nghiên cứu và tranh cãi.

Bây giờ chúng ta cần xét đến các tham số có liên quan đến tương lai của quá trình tiến hoá của vũ trụ và điểm qua các giai đoạn chính của sự tiến hoá từ trước đến nay.

1. Các tham số liên quan sự tiến hoá của vũ trụ

Sự tiến hoá của vũ trụ trong quá khứ, hiện tại cũng như tương lai được quyết định bởi hai lực đối lập: Lực tạo thành từ vụ nổ ban đầu

dẫn đến sự giãn nở của vũ trụ và lực hấp dẫn tác dụng bởi toàn bộ vật chất thấy được cũng như không thấy được chứa trong vũ trụ làm kìm hãm sự giãn nở đó.

Ngay từ năm 1922, Alexandre Friedman nhà toán học và địa vật lý người Nga đã sử dụng thuyết tương đối rộng của Einstein để nghiên cứu sự tiến hoá của vũ trụ do tương tác của các lực nói trên và thu được những phương trình dựa trên ba tham số gọi là "các tham số vũ trụ". Tham số thứ nhất đặc trưng cho sự giãn nở của vũ trụ, hai tham số còn lại liên hệ mật thiết với nhau và đặc trưng cho sự kìm hãm chuyển động giãn nở đó.

– Tham số thứ nhất chính là hằng số Hubble, nó hiện diện trong định luật Hubble mô tả sự giãn nở của vũ trụ được phát hiện vào năm 1929 như đã đề cập ở chương X mục X–4 có biểu thức v = H.r, trong đó v là vận tốc chạy ra xa của một điểm nào đó trong vũ trụ đối với một điểm khác (tính bằng km/s). r là khoảng cách giữa hai điểm đó (tính bằng triệu năm ánh sáng). Các quan sát chứng tỏ rằng hằng số Hubble hiện nay có giá trị nằm trong khoảng 15 đến 30km/ (s triệu năm ánh sáng). Nghịch đảo hằng số Hubble cho tuổi của vũ trụ (tuổi này chỉ là xấp xỉ, nó sẽ là chính xác nếu như vũ trụ không giảm tốc).

$$\text{Tuổi vũ trụ} \sim \frac{1}{H}\begin{cases} = 10 \text{ tỉ năm đối với } H = 30\text{km.s}^{-1}(\text{triệu nas})^{-1}50\text{kms}^{-1}\text{Mps}^{-1} \\ = 20 \text{ tỉ năm đối với } H = 15\text{km.s}^{-1}(\text{triệu nas})^{-1}100\text{kms}^{-1}\text{Mps}^{-1} \end{cases}$$

Như vậy tuổi của vũ trụ còn bất định với hai hệ số. Tham số này rất lớn lúc đầu và giảm dần theo tuổi tác của vũ trụ.

– Tham số thứ hai ký hiệu là q mô tả sự giảm tốc của vũ trụ do sự kìm hãm của lực hấp dẫn do toàn bộ vật chất chứa trong vũ trụ gây ra. Theo định nghĩa độ giảm tốc là độ giảm vận tốc giãn nở của vũ trụ trong đơn vị thời gian (chẳng hạn trong 1 giây)

$$q \sim \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

mà $$v \sim \frac{\Delta r}{\Delta t} = \dot{r}$$

Vậy $$q \sim \frac{\Delta \dot{r}}{\Delta t} = \ddot{r}$$

Công thức chính xác được cho bởi phương trình Friedman là

$$q = -\frac{\ddot{r}r}{\dot{r}^2}$$

Dấu trừ ở đây có nghĩa là vũ trụ giảm tốc (dấu cộng sẽ tương ứng với vũ trụ tăng tốc). Tuỳ theo q nhỏ hơn, bằng hay lớn hơn 1/2 mà vũ trụ sẽ là mở (giãn nở vĩnh viễn), phẳng (giãn nở chỉ dừng lại sau một thời gian vô hạn) hay là kín (nó sẽ tự co lại).

– Tham số vũ trụ thứ ba ký hiệu là d, nó là mật độ trung bình của vật chất (thấy được và không thấy được) trong vũ trụ. Tham số này liên hệ khăng khít với tham số giảm tốc q. Vì lực hấp dẫn chính là do lượng vật chất này gây ra đã kìm hãm sự giản nở của vũ trụ. Các phương trình Friedman chứng tỏ rằng lực hấp dẫn sẽ đủ mạnh để làm dừng sự giãn nở của vũ trụ nếu như d không nhỏ hơn mật độ tới hạn có giá trị bằng:

$$d(\text{tới hạn}) = \frac{3H^2}{8\pi G}$$

Trong đó G là hằng số hấp dẫn, ký hiệu d tới hạn là d_{th}.

+ Đối với H = 15km s^{-1} (triệu nas)$^{-1}$ thì d_{th} = 3 nguyên tử hiđrô, trong $1m^3$ hay $4,5.10^{-30}g/cm^3$.

+ Đối với H = 30km s^{-1} (triệu nas)$^{-1}$ thì d_{th} = 12 nguyên tử hiđrô, trong $1m^3$ hay $1,8.10^{-29}g/cm^3$.

Nếu: $d > d_{th} \rightarrow$ vũ trụ đóng

$d = d_{th} \rightarrow$ vũ trụ phẳng

$d < d_{th} \rightarrow$ vũ trụ mở

Tham số giảm tốc q liên hệ với tham số mật độ d bởi hệ thức

$$q = \frac{d}{2d_{th}} = \frac{4\pi Gd}{3H^2}$$

Nếu bằng cách nào đó đo được chính xác các giá trị H, q và d thì chúng ta có thể biết biểu thức trên có nghiệm đúng không và cũng kiểm tra được sự đúng đắn của thuyết tương đối rộng đối với toàn vũ trụ.

2. Các giai đoạn chính trong quá trình tiến hoá của vũ trụ

a) Trước tiên là có một thời kỳ lạm phát ($10^{-35}s < t < 10^{-32}s$)

Trong đó vũ trụ giãn nở theo thời gian như một hàm mũ:

$$r \sim e^{Ht}$$

trong đó r là khoảng cách giữa hai điểm bất kỳ trong vũ trụ, H là hằng số Hubble trong pha lạm phát, pha này, do sự kết tinh của vũ trụ, không được mô tả bởi các phương trình Friedman. Trái lại các phương trình này mô tả rất tốt các giai đoạn tiếp theo sau.

b) Thời kỳ bức xạ (1s < t < 300000 năm)

Trong đó mật độ bức xạ d (bức xạ) lớn hơn mật độ vật chất d (vật chất) và điều khiển sự tiến hoá của vũ trụ. Trong giai đoạn này, vũ trụ giãn nở tỷ lệ với căn bậc hai của thời gian

$$r \sim t^{1/2}$$

Còn nhiệt độ T tỷ lệ nghịch với khoảng cách:

$$T \sim \frac{1}{r} \sim \frac{1}{t^{1/2}}$$

Mật độ vật chất giảm tỷ lệ nghịch với thể tích

$$d\ (\text{vật chất}) \sim \frac{1}{r^3} \sim \frac{1}{t^{3/2}}$$

Nhưng mật độ bức xạ giảm nhanh hơn

$$d\ (\text{bức xạ}) \sim \frac{1}{r^4} \sim \frac{1}{t^2}$$

Sở dĩ có sự khác biệt này là do năng lượng tương ứng với khối lượng vật chất được bảo toàn trong quá trình giãn nở của vũ trụ, trong khi đó năng lượng bức xạ giảm theo $1/r$. Tuổi vũ trụ càng tăng, sự cách biệt giữa mật độ bức xạ và mật độ vật chất càng giảm dần. Khi vũ trụ đến tuổi 300000 năm hai mật độ này bằng nhau.

c) Thời kỳ vật chất (t > 300000 năm) thời kỳ này kéo dài cho tới ngày nay. Trong thời kỳ này vật chất chiếm ưu thế và điều khiển sự giãn nở của vũ trụ. Sự giãn nở này được mô tả bằng hệ thức: $r \sim t^{2/3}$

Nhiệt độ, mật độ vật chất và mật độ bức xạ giảm theo thời gian theo các quy luật sau:

$$T \sim \frac{1}{r} \sim \frac{1}{t^{2/3}}$$

$$d\ (\text{vật chất}) \sim \frac{1}{r^3} \sim \frac{1}{t^2}$$

$$d\ (\text{bức xạ}) \sim \frac{1}{r^4} \sim \frac{1}{t^{8/3}}$$

Vũ trụ ngày nay có nhiệt độ gần 3K. Mật độ vật chất vào khoảng 10^{-30}g/cm^3, trong khi đó mật độ bức xạ vào khoảng 7.10^{-34} g/cm^3 tức là bé hơn khoảng 1430 lần.

Sơ đồ dưới đây biểu diễn quá trình tiến hoá của vũ trụ từ Big-Bang (bên trái) cho đến hiện nay (bên phải).

BÀI TẬP CHƯƠNG XI

11.1. Tính tốc độ dịch chuyển ra xa v và khoảng cách d của quasar có:

a) Độ dịch chuyển về phía đỏ z = 0,158.

b) Độ dịch chuyển về phía đỏ z = 5.

Lấy giá trị của H = 65km/s/Mps.

c) Đối với các quasar ở rất xa có vai trò gì trong việc nghiên cứu vũ trụ.

11.2. Theo định luật dịch chuyển Wien, khi đối tượng bức xạ có nhiệt độ T, bước sóng có cường độ bức xạ cực đại là λ_{max} thì $\lambda_{max}T = 2898\mu mK$

a) Bức xạ viba nền đạt cực đại về cường độ ở bước sóng 1,1mm. Hỏi nhiệt độ tương ứng là bao nhiêu?

b) Khoảng 10^5 năm sau Big–Bang, vũ trụ trở nên trong suốt đối với các bức xạ điện từ. Nhiệt độ của vũ trụ khi đó cỡ 10^5K. Tính bước sóng tương ứng với bức xạ nền có cường độ mạnh nhất vào thời gian đó.

11.3. Một ngôi sao có khối lượng gấp 5 lần khối lượng Mặt Trời (đa số các sao có khối lượng này). Nếu suy sụp trở thành lỗ đen thì bán kính không thể quay lùi là bao nhiêu? (Bán kính này còn gọi là bán kính Schwarzschild nghĩa là một vật nào đó khi lọt vào trong bán kính này thì không thể đi ra ngoài được nữa, kể cả photon ánh sáng).

11.4. Ngày nay chúng ta có thể xác định vị trí trong không gian vũ trụ đã xảy ra Vụ nổ lớn không?

11.5. Dựa trên cơ sở nào mà mô hình vũ trụ Big–Bang được thừa nhận?

11.6. Sự tiến hoá của vũ trụ bị chi phối bởi tác dụng của lực hấp dẫn và động năng do sự giãn nở. Lực hấp dẫn tác dụng lên một lớp vỏ hình cầu bán kính R được cắt ra từ vũ trụ tỷ lệ với mật độ trung bình của vật chất ρ. Mặt khác, giá trị hằng số Hubble cho phép chúng ta tính được động năng của lớp vỏ đang giãn nở.

Hãy tính thế hấp dẫn và động năng. Giả thiết rằng chúng cân bằng (trường hợp vũ trụ phẳng). Hãy tính mật độ của vũ trụ. Lấy H = 65km/s/Mpc; G = 6,67. 10^{-11} Nm^2Kg^{-2}.

Phụ lục 1

CÁC HẰNG SỐ THIÊN VĂN VÀ VẬT LÝ

I.1. Các hằng số thiên văn

Đơn vị thiên văn (đvtv)	1đvtv =	$1.49597870 \times 10^{11}$m ≈ $150,10^{6}$km
Năm ánh sáng (nas)	1nas =	9.460530×10^{15}m
	=	6.324×10^{4} đvtv
parsec (Ps)	1ps =	3.086×10^{16}m
	=	206264.806đvtv
	=	3.262 nas
Thị sai Mặt Trời	$\pi_{\odot}$ =	8.794148" (giâygóc)
Năm xuân phân (1900)	1 năm =	365.24219878 ngày ≈ 365.2422 ngày
Khối lượng Mặt Trời	$M_{\odot}$ =	(1.9891) x 10^{30}kg
Bán kính Mặt Trời	$R_{\odot}$ =	696 000km
Độ trưng của Mặt Trời	$L_{\odot}$ =	3.827 x 10^{26}W
Khối lượng Trái Đất	$M_{\oplus}$ =	(5.9742) x 10^{24}kg
Bán kính xích đạo của Trái Đất	R_{λ}=	6378.140km
Khoảng cách trung bình từ tâm Trái Đất đến tâm Mặt Trăng = 384 403km		
Bán kính Mặt Trăng	R_T =	1738km
Khối lượng Mặt Trăng	M_T =	7.35 x 10^{22}kg
Hằng số Mặt Trời	C =	1368 W/m^2 ≈ 2cal/cm^2.phút
Hướng của tâm thiên hà Ngân Hà		[2000.0 thay đổi do đến tiến động (tuế sai)]
		$\alpha = \alpha = 17^{h}45,6ph$
		$\delta = -28^{0}56'$

I.2. Các hằng số Vật lý

Vận tốc ánh sáng	c =	299.792.458m/s (chính xác))
Hằng số hấp dẫn	G =	(6,67259 ± 0,00085).10^{-11}m^3/kg.s^2
Hằng số Planck	h =	(6,626 0755 ± 0,000 0040). 10^{-34}/kg.s^2
Hằng số Boltzmann	k =	(1,380 658 ± 0,000 012). 10^{-23}J/K
Hằng số Stefan – Boltzmann	σ =	((5,67051 ± 0,00019).10^{-8})W/m^2.K^4
Hằng số dịch chuyển Wien	$\lambda_{max}T$ =	0,289 789cmk = 28,9789.10^{6}+ K
Khối lượng nguyên tử hiđrô	m_H =	(1,673 5340 ± 0,000 0010). 10^{-27}kg
Khối lượng nơtron	m_n =	(1,674 928) ± 0,000 001 0). 10^{-27}kg
Khối lượng proton	m_p =	(1,672 623 1 ± 0,000 001 0). 10^{-27}kg
Khối lượng electron	m_e =	(9,109 389 7 ± 0,0000054). 10^{-31}kg
Hằng số Rydberg	R =	(1,097373 153 ± 0,0000000013).10^{-7}/m

Phụ lục II

CÁC CÔNG THỨC CƠ BẢN LƯỢNG GIÁC CẦU

Tam giác cầu là một phần mặt cầu được giới hạn bởi ba cung của ba vòng tròn lớn.

Tam giác cầu ABC có ba cạnh đối diện với ba đỉnh A, B, C được ký hiệu là a, b, c được đo theo đơn vị góc.

Còn các góc ở các đỉnh là góc tạo bởi hai tiếp tuyến với hai cung tại đỉnh ấy. Chẳng hạn

$\hat{A} = T\hat{A}T'$ với O là tâm của mặt cầu thì $\begin{cases} OA \perp AT \\ OA \perp AT' \end{cases}$

Trong tam giác cầu ta có $180^\circ \leq \hat{A} + \hat{B} + \hat{C} \leq 540^\circ$

Các công thức sin:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \qquad (1)$$

Các công thức cosin:

$$\begin{cases} \cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \\ \cos b = \cos c \cos a + \sin c \sin a \cos B \\ \cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C \end{cases} \qquad (2)$$

Các công thức sin cosin

$$\begin{cases} \sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \\ \sin b \cos C = \cos c \sin a - \sin c \cos a \cos B \\ \sin c \cos A = \cos a \sin b - \sin a \cos b \cos C \end{cases} \qquad (3)$$

Trường hợp tam giác có một góc vuông hoặc một cạnh bằng 90^0 thì các công thức trên sẽ đơn giản hơn. Ví dụ $A = 90^\circ$ thì $\cos A = 0$, $\sin A = 1$ và các công thức (1), (2), (3) sẽ đơn giản hơn.

Phụ lục III

CÁC SỐ LIỆU VỀ CÁC HÀNH TINH

BẢNG III–1: QUỸ ĐẠO CÁC HÀNH TINH

Hành tinh	Chu kỳ giao hội (ngày)	Năm xuân phân	Chu kỳ đối với các sao(ngày)	Bán trục lớn		Tâm sai	Góc nghiêng với hoành đạo
				đvtv	10^6km		
Thuỷ tinh	115.9	0.241	87.96	0.387	57.9	0.206	7.00°
Kim tinh	583.9	0.615	224.70	0.723	108.2	0.007	3.39
Trái Đất	–	1.000	365.26	1.000	149.6	0.017	0.00
Hoả tinh	779.9	1.881	686.98	1.524	228.0	0.^93	1.85
Mộc tinh	398.9	11.86	4333	5.203	778.3	0.048	1.31
Thổ tinh	378.1	29.46	10.759	9.54	1427	0.056	2.49
Thiên tinh	369.7	84.01	30.685	19.18	2871	0.047	0.77
Hải tinh	367.5	164.8	60.188	30.06	4497	0.009	1.77

BẢNG III–2: SỰ QUAY CỦA CÁC HÀNH TINH

Hành tinh	Chu kỳ quay đối với sao	Độ dẹt $\varepsilon = \frac{a-b}{a}$	Độ nghiêng xích đạo với quỹ đạo
Thuỷ tinh	58.65	0	0.0°
Kim tinh	243	0	177,4
Trái Đất	$23^h56^m4.1^s$	0,0034	23,5
Mặt Trăng	27.3	0,0006	6,7
Hoả tinh	$24^h37^m22.6^s$	0,0052	25,2
Mộc tinh	$9^h50.5^m$	0,062	3,1
Thổ tinh	10^h14^m	0,096	26,7
Thiên tinh	17^h14^m	0,06	98
Hải tinh	16^h3^m	0,02	29
Góc nghiêng lớn hơn 90° là quay ngược chiều			

BẢNG III–3. CÁC ĐẶC TRƯNG VẬT LÝ

Hành tinh	Khối lượng		Bán kính xích đạo		Mật độ trung bình (kg/m^3)	Gia tốc trọng trường		Vận tốc thoát (km/s)	Nhiệt độ (K)		
	10^{24}kg	⊕ = 1	km	⊕ = 1		(⊕=1)	Albedo		Cân bằng vật đen	Quan sát	Chuẩn vật đen là Mặt Trời
Thuỷ tinh	0.33	0.056	2439	0.38	$5,4x10^3$	0,38	0,06	4,2	445	100–700	633
Kim tinh	4.87	0.815	6052	0.95	5,2	0,91	0,76	10,3	325	700	464
Trái Đất	5.97	1.000	6378	1.00	5,52	1,00	0,4	11,2	277	250–300	395
(Mặt Trăng)	0.07	0.012	1738	0.27	3,34	0,16	0,07	2,4	277	120–390	395
Hoả tinh	0.64	0.107	3393	0.53	3,9	0,39	0,16	5,1	225	210–300	319
Mộc tinh	1900	318	71,398	11.19	1.40	2.74	0.51	61	122	110–150	173
Thổ tinh	596	95	60,000	9.41	0.69	1.17	0.50	36	90	95	127
Thiên tinh	87	14,5	25,559	4.01	1.19	0.94	0.66	21	63	58	90
Hải tinh	103	17,2	24,800	3.89	1.66	1.15	0.62	24	50	56	72

Phụ lục IV

CÁC VỆ TINH CỦA CÁC HÀNH TINH

BẢNG IV–1. VỆ TINH NHÓM TRÁI ĐẤT

Hành tinh	Vệ tinh	Khoảng cách đến hành tinh (10^3km)	Chu kỳ quay (ngày)	Tâm sai quỹ đạo	Góc nghiêng quỹ đạo (độ)	Bán kính (km)	Khối lượng hành tinh =1)	Mật độ (kg/m^3)
Trái Đất	Mặt Trăng	384	27,32	0.055	5.1	1738	0,012	3300
Hoả tinh	Phobos	9.37	0,32	0.021	1.1	14x11x9	1,5x10^{-8}	1900
	Deimos	23.52	1,26	0.003	1,6	8x6x5	3,1x10^{-9}	2100

BẢNG IV–2. VỆ TINH LỚN CỦA MỘC TINH

Tên	Số hiệu	Khoảng cách tới Mộc tinh		Chu kỳ trên quỹ đạo	Bán kính (km)	Khối lượng (Hành tinh =1)	Mật độ (kg/m^3)
		10^3km	Bán kính Mộc tinh				
Metis	J16	128	1.79	0.29	10	5 x 10^{-11}	-
Andrastea	J14	129	1.80	0.30	20	1 x 10^{-11}	-
Almathea	J5	181	2.55	0.50	130 x 80	2 x 10^{-9}	3000
Thebe	J15	222	3.11	0.67	45	4 x 10^{-10}	-
Io	J1	422	5.95	1.77	1820	4.7 x 10^{-5}	3530
Europa	J2	671	9.47	3.55	1570	2.6 x 10^{-5}	3030
Ganymede	J3	1070	15.10	7.16	2630	7.8 x 10^{-5}	1930
Callisto	J4	1883	26.60	16.69	2400	5.7 x 10^{-5}	1790
Leda	J13	11,094	156	239	≈ 8	3 x 10^{-12}	–
Himalia	J6	11,480	161	251	85	5.0 x 10^{-9}	1000
Lysithea	J10	11,720	164	259	≈ 20	4 x 10^{-11}	–
Elara	J7	11,737	165	260	≈ 40	4 x 10^{-10}	–
Ananke	J12	21,200	291	631(R)	15	2 x 10^{-11}	–
Carme	J11	22,600	314	692 (R)	20	5 x 10^{-11}	–
Pasiphae	J8	23,500	327	735(R)	20	1 x 10^{-10}	–
Sinope	J9	23,700	333	758(R)	20	4 x 10^{-11}	–

(R) Quay ngược quỹ đạo

BẢNG IV–3. VỆ TINH LỚN CỦA THỔ TINH

Tên	Khoảng cách tới Thổ tinh		Chu kỳ trên quỹ đạo (ngày)	Bán kính (km)	Khối lượng (Hành tinh =1)	Mật độ (kg/m^3)
	10^3km	Bán kính Thổ tinh				
Atlas	137,67	2,28	0,602	20 x 10	–	–
Prometheus	139,35	2,31	0,613	70 x 50 x 40	–	
Pandora	141,70	2,35	0,629	55 x 45 x 35	–	–
Epimetheus	151,42	2,51	0,694	70 x 60 x 50	–	–
Janus	151,47	2,51	0,695	110 x 100 x 80	–	–
Mimas	185,54	3,08	0,942	197	$8,0 \times 10^{-8}$	1200
Enceladus	238,04	3,95	1,370	250	$1,3 \times 10^{-7}$	1200
Tethys	294,66	4,88	1,888	524	$1,3 \times 10^{-6}$	1200
Telesto	294,67	4,88	1,888	17 x 14 x 13	–	–
Calypso	294,67	4,88	1,888	17 x 11 x 11	–	–
Dione	377,42	6,26	2,737	560	$1,85 \times 10^{-6}$	1400
1980 S6	377,42	6,26	2,737	18 x 16 x 15	–	–
Rhea	527,07	8,74	4,518	765	$4,4 \times 10^{-6}$	1300
Titan	1221,86	20,25	15,945	2575	$2,36 \times 10^{-4}$	1880
Hyperion	1481,00	24,55	21,277	205 x 130 x 110	3×10^{-8}	–
Iapetus	3560,80	59,02	79,33	718	$3,3 \times 10^{-6}$	1200
Phoebe	12,954	214,7	550,45	≈ 110	7×10^{-10}	–

BẢNG IV–4. VỆ TINH LỚN CỦA THIÊN TINH VÀ HẢI TINH

Hành tinh	Vệ tinh	Khoảng cách đến hành tinh (10^3km)	Chu kỳ quay (ngày)	Bán kính (km)	Khối lượng (hành tinh =1)	Mật độ (kg/m^3)
Thiên tinh	Ariel	191.8	2,52038	580	$1,8 \times 10^{-5}$	–
	Umbriel	267,3	4,14418	595	$1,2 \times 10^{-5}$	–
	Titania	438,7	8,70588	805	$6,8 \times 10^{-5}$	~1500
	Oberon	586,6	13,46326	775	$6,9 \times 10^{-5}$	~1500
	Miranda	130,1	1,414	160	2×10^{-6}	–
Hải tinh	Triton	354,3	5,87683	1430	13×10^{-3}	–
	Nereid	5510	359	470	$2,0 \times 10^{-7}$	–

Phụ lục V

CÁC CHÒM SAO

Theo quy ước quốc tế trên bầu trời có 88 chòm sao, riêng chòm Con Bò Cạp ở Việt Nam được phân thành hai chòm: Thần Nông và Con Vịt.

TT	Tiếng la tinh	Tiếng Việt và dịch nghĩa	Viết tắt	TT	Tiếng la tinh	Tiếng Việt và dịch nghĩa	Viết tắt
1	Adromeda	Tiên Nữ	And	45	Lacerta	Thạch Sung	Lac
2	Antlia	Cái Bơm	Ant	46	Leo	Sư Tử	Leo
3	Apus	Chim thiên đàng	aps	47	Leo Minor	Sư Tử con	LMi
4	Aquarius	Bảu Bình	Apr	48	Lepus	Thiên Thỏ	Lep
5	Aquila	Thiên Ứng	Aql	49	Libra	Thiên Bình	Lib
6	Ara	Thiên Đàn	Ara	50	Lupus	Chó Sói	Lup
7	Aries	Bạch Dương	Ari	51	Lynx	Sơn Miêu	Lyn
8	Auriga	Ngự Phu	Aur	52	Lyra	Thiên Cầm	Lyr
9	Bootes	Mục Phu	Boo	53	Mensa	Thiên Bàn	Men
10	Caelum	Cái Đục	Cae	54	Mieroscopium	Kính hiển vi	Mic
11	Camelopardalis	Hươu cao cổ	Cam	55	Monoceros	Kỳ Lân	Mon
12	Cancer	Cự Giải (Con tôm)	Cnc	56	Musca	Con Ruồi	Mus
13	Canes Venatici	Chó Săn	Cvn	57	Norma	Thước trực chuẩn	Nor
14	Canis Majon	Đại khuyển (chó lớn)	CMa	58	Octans	Otan	Oct
15	Canis Minor	Tiểu khuyển (chó bé)	CMi	59	Ophiuchus	Xà Phu	Oph
16	Capricornus	Con Hươu (Ma kết)	Cap	60	Orion	Lạp Hộ (tráng sĩ)	Ori
17	Carina	Sườn tàu thuỷ	Car	61	Pavo	Con Công	Pav
18	Cassiopeia	Thiên Hậu	Cas	62	Pegasus	Phị Mã	Peg
19	Centaurus	Bán Nhân Mã	Cen	63	Perseus	Anh Tiên	Per
20	Cepheus	Thiên Vương	Cep	64	Phoenix	Phượng Hoàng	Phe
21	Cetus	Kình Ngư	cet	65	Pictor	Thiên Giá	Pic
22	Chamaeleon	Tắc kè hoa	cha	66	Pisces	Song Ngư	PSC
23	Circinus	La bàn	cir	67	PiscisAutrinus	Nam Ngư	PSA
24	Colum ba	Bồ Câu	col	68	Puppis	Puppi	Pup
25	ComaBerenicas	Tóc của Berenice	com	69	Pyxic	Pyxi	Pyx
26	Corona Autralis	Nam Miện	CrA	70	Reticulum	Thiên võng (lưới)	Ret

27	Corona Borealis	Bắc Miện	CrB	71	Sagitta	Mũi tên	Sge
28	Cor vus	Con Quạ	Crv	72	Sagittarius	Nhân Mã	Sgr
29	Crater	Cái Chén	Crt	73	Seorpius	Bò Cạp	Seo
30	Crux	Nam Thập tự	Cru	74	Sculptor	Nhà điêu khắc	Sel
31	Cygnus	Thiên Nga	Cyg	75	Scutum	Cái khiên (tấm chắn)	Set
32	Delphinus	Cá Heo	Del	76	Serpens	Cự xà	Ser
33	Dorado	Cá Kiếm	Dor	77	Sextans	Kính lục phân	Sex
34	Draco	Thiên Long	Dra	78	Taurus	Kim Ngưu (con trâu)	Tau
35	Equuleus	Tiểu Mã	Equ	79	Telescopium	Kính viễn vọng	Tel
36	Eridanus	Ba Giang	Eri	80	Triangulum	Tam giác	Tri
37	Formax	Lò Sưởi	For	81	Triangulum (Australe)	Tam giác nam	TrA
38	Gemini	Song tử	Gem	82	Tucana	Sác cầm	Tuc
39	Grus	Thiên Hạc	Gru	83	UrsaMajor	Đại hùng (gấu lớn)	UMa
40	Hercules	Vũ Tiên	Her	84	Ursa Minor	Tiểu hùng (gấu bé)	Umi
41	Horologium	Đồng hồ	Hor	85	Vela	Thiên phàm	Vel
42	Hydra	Thiên xà	Hya	86	Virgo	Trinh Nữ	Vir
43	Hydrus	Rắn biển	Hyi	87	Volans	Ngư phi	Vol
44	Indus	Indi	Ind	88	Vulpecala	Tiểu hồ	Vul

Phụ lục VI

CÁC SAO GẦN VÀ SÁNG NHẤT

BẢNG VI.1. CÁC SAO GẦN NHẤT (TRONG KHOẢNG 5 PARSEC)

					A			B			C		
Sao	α (1975)	δ (1975)	Khoảng cách (parsec)	Chuyển động riêng (″/năm)	m_v	M_v	Quang phổ	m_v	M_v	Quang phổ	m_v	M_v	Quang phổ
αCentauri	14h38m0	–60°44′	1.31	3.68	0.01	4.4	G2V	1.4	5.8	K5 V	10.7	15	M5eV
Sao Barnard	17 56.6	+4 37	1.83	10.34	9.54	13.2	M5V	Sao phụ không thấy					
Wolf359	10 53.3	+7 10	2.32	4.71	13.66	16.8	M6eV						
BD+36°2147	11 2.0	+36 8	2.49	4.78	7.47	10.5	M2V	Sao phụ không thấy					
Sirius(Thiênlang)	6 44.0	–16 41	2.65	1.32	–1.47	1.4	A1 V	8.7	11.5	WD			
Luyten 726–8	1 37.7	–18 5	2.74	3.35	12.5	15.4	M5.5eV	12.9	15.8	M6e V			
Ross 154	18 48.3	–23 52	2.90	0.72	10.6	13.3	M4.5eV						
Ross 248	23 40 7	+44 3	3.16	1.60	12.24	14.7	M5.5eV						
εEridani	3 31.8	–9 33	3.28	0.97	3.73	6.1	K2V						
Luyten 789–6	22 37.2	–15 27	3.31	3.25	12.58	14.9	M5.5eV						
Ross 128	11 46.4	+ 057	3.32	1.40	11.13	13.5	M5 V						
61 Cygni	21 5.8	+38 53	3.43	5.22	5.19	7.5	K5 V	6.02	8.3	K7 V	Sao phụ không thấy		
ε Indi	22 1.4	–56 53	3.44	4.69	4.73	7.0	K5 V						
Procyon	7 38.0	+5 17	3.48	1.25	0.34	2.7	F5 IV–V	10.7	13.0	WD			
BD+59° 1915	18 42.5	+5935	3.52	2.29	8.90	11.1	M4 V	9.69	11.9	M5V			
BD+43° 44	0 16.9	+4353	3.55	2.91	8.07	10.3	M2.5eV	11.04	13.2	M4.eV			
CD–36° 15693	23 4.2	–36 0	3.59	6.90	7.39	9.6	M2 V						
τCeti	1 42.9	–16 4	3.67	1.92	3.50	5.7	G8 Vp	sao phụ không thấy					
BD+5° 1668	7 26.1	+518	3.76	3.73	9.82	11.9	M4 V						
CD–39° 14192	21 15.8	–38 58	3.85	3.46	6.72	8.7	M10 V						
CD–45° 1841	5 10.6	–45 0	3.91	8.72	8.81	10.8	M0						
Kruger 60	22 27.1	+5734	3.94	0.87	9.77	11.8	M3 V	11.43	13.4	M4.5eV			
Ross 614	6 28.1	–2 48	4.02	1.00	11.13	13.1	M4.5eV	14.8	16.8	?			
BD–12° 4523	16 28.9	–12 36	4.02	1.18	10.13	12.0	M4.5eV						
v.Maanen's Star	0 47.9	+5 16	4.28	2.98	12.36	14.3	WD						
Wolf 424	12 32.1	+9 10	4.37	1.78	12.7	14.4	M5.5eV	12.7	14.4	M6eV			
CD–37° 15492	0 3.9	–37 29	4.45	6.11	8.59	10.3	M3 V						
BD+50° 1725	10 9.9	+4935	4.61	1.45	6.59	8.3	M0 V						
CD–46° 11540	17 26.8	–46 52	4.63	1.06	9.34	11.3	M4 V						
CD–49° 13515	21 31.9	–49 7	4.67	0.81	9	11	Me V						
CD–44° 11909	17 35.3	–44 18	4.69	1.14	11.2	12.8	M5 V						
Luyten 1159–16	1 58.7	+12 58	4.72	2.08	12.3	13.9	M7?						

BD + 15° 2620	13h44m5	+15°2'	4.80	2.30	8.6	10.2	M2 V						
BD + 68° 946	17 36.6	+68 22	4.83	1.31	9.1	10.7	M3 V	Sao phụ không thấy					
Luyten 145–141	11 44.2	–64 42	4.85	2.69	11	12.5	WD						
Ross 780	22 51.9	–14 24	4.85	1.12	10.2	11.8	M5 V						
0² Eridani	4 14.2	–7 42	4.87	4.08	4.5	6.0	K0 V						
BD + 20° 2465	10 18.2	+20 0	4.95	0.49	9.4	10.9	M4.5 V	9.2	10.7	WD	11.0	12.5	M5eV
								Sao phụ không thấy					

BD: Theo danh mục sao Bonner Durchmusterung

CD: Theo danh mục sao Cordoba Durchumusterung

Sao kép là các sao gồm hai hoặc ba sao

BẢNG VI.2. 25 SAO SÁNG NHẤT

Sao	α 1975	δ 1975	m_v	Khoảng cách (parsecs)	Chuyển động riêng ("/năm)	Loại quang phổ	M_v
Sirius, α Cma (Thiên lang)	6h44.m0	–16°14'	–1.5*	2.7	1.32	A1V	+1.4
Canopus, α Car	6 23.6	–5241	–0.7	55	0.02	F0Ib	–3.1
α Centauri	14 38.0	–6044	–0.3*	1.3	3.68	G2V	+4.4
Arcturus, α Boo	14 14.5	+1919	–0.1	11	2.28	K2III	–0.3
Vega, α Lyr (Chức nữ)	18 36.0	+3846	0.0	8.1	0.34	A0V	+0.5
Capella, α Aur	5 14.8	+4552	0.0*	14	0.44	G2III	–0.7
Rigel, β Ori	5 13.3	–814	0.1*	250	0.00	B8Ia	–6.8
Procyon, α CMi	7 38.0	+517	0.3*	3.5	1.25	F5IV–V	+2.7
Achernar, α Eri	1 37.8	–5722	0.5	20	0.10	B5 V	–1.0
β Centauri	14 02.1	–6015	0.6*	90	0.04	B1III	–4.1
Altair, α Aql	19 49.5	+8 48	0.8	5.1	0.66	A7 IV–V	+2.2
Betelgeuse, α Ori	5 53.8	+7 24	0.8+	150	0.03	M2 Iab	–5.5
Aldebaran, α Tau	4 34.0	+16 28	0.9*	16	0.20	K2 III	–0.2
α Crucis	12 25.2	–63 00	0.9*	120	0.04	B1 IV	–4.0
Spica, α Vir	13 23.9	–11 01	1.0+	80	0.05	B1V	–3.6
Antares, α Sco	16 27.8	–26 22	1.0*+	120	0.03	M1 Ib	–4.5
Pollux, β Gem	7 43.8	+28 05	1.2	12	0.62	K0 III	+0.8
Formalhaut, αPsA	22 56.2	–29 45	1.2	7	0.37	A3 V	+2.0
Deneb, α Cyg	20 40.6	+45 11	1.3	430	0.00	A2 Ia	–6.9
β Crucis	12 46.2	–59 33	1.3	150	0.05	B0.5 IV	–4.6
Regulus, α Leo	10 7.0	+12 05	1.4*	26	0.25	B7 V	–0.6
ε Canis Majoris	6 57.7	–28 56	1.5	240	0.00	B2 II	–5.4
Castor, α Gem	7 33.0	+31 56	1.6	14	0.20	A1 V	+0.9
λ Scorpii	17 31.8	–37 05	1.6	96	0.03	B2 IV	–3.3
Bellatrix, γ Ori	5 23.8	+6 20	1.6	210	0.02	B2 III	–3.6

Phụ lục VII

DANH MỤC CÁC THIÊN HÀ MESSIER

BẢNG VII.1

Messier Số	NGC	α (2000)		δ (2000)		Chòm sao	Kích thước Phút góc	V Cấp sao	loại	Tên
1	1952	5^h	$34^m.5$	$+22^0$	01'	Tau	6 × 4	8.4	Di	Tinh vân con cua
2	7089	21	33.5	−0	49	Aqr	13	6.5	Gb	
3	5272	13	42.2	+28	23	CVn	16	6.4	Gb	
4	6121	16	23.6	−26	32	Sco	26	5.9	Gb	
5	5904	15	18.6	+2	05	Ser	17	5.8	Gb	
6	6405	17	40.1	−32	13	Sco	15	4.2	OC	
7	6475	17	53.9	−34	49	Sco	80	3.3	OC	
8	6523	18	03.8	−24	23	Sgr	90 × 40	5.8:	Di	Lagoon Nebula
9	6333	17	19.2	−18	31	Oph	9	7.9:	Gb	
10	6254	16	57.1	−4	06	Oph	15	6.6	Gb	
11	6705	18	51.1	−6	16	Sct	14	5.8	OC	
12	6218	16	47.2	−1	57	Oph	14	6.6	Gb	
13	6205	16	41.7	+36	28	Her	17	5.9	Gb	Hercules Cluster
14	6402	17	37.6	−3	15	Oph	12	7.6	Gb	
15	7078	21	30.0	+12	10	Peg	12	6.4	Gb	
16	6611	18	18.8	−13	47	Ser	7	6.0	OC	
17	6618	18	20.8	−16	11	Sgr	46 ×37	7:	Di	Omega Nebula
18	6613	18	19.9	−17	08	Sgr	9	6.9	OC	
19	6273	17	02.6	−26	16	Oph	14	7.2	Gb	
20	6514	18	02.6	−23	02	Sgr	29 × 27	8.5:	Di	Trifid Nebula
21	6531	18	04.6	−22	30	Sgr	13	5.9	OC	
22	6656	18	36.4	−23	54	Sgr	24	5.1	Gb	
23	6494	17	56.8	−19	01	Sgr	27	5.5	OC	
24		18	16.9	−18	29	Sgr	90	4.5:		
25	IC4725	18	31.6	−19	15	Sgr	32	4.6	OC	
26	6694	18	45.2	−9	24	Sct	15	8.0	OC	
27	6853	19	59.6	+22	43	Vul	8 × 4	8.1:	Pl	Dumbbell Nebula
28	6626	18	24.5	−24	52	Sgr	11	6.9:	Gb	
29	6913	20	23.9	+38	32	Cyg	7	6.6	OC	
30	7099	21	40.4	−23	11	Cap	11	7.5	Gb	
31	224	0	42.7	+41	16	And	178×63	3.4	S	Thiên hà Tiên nữ
32	221	0	42.7	+40	52	And	8 × 6	8.2	E	
33	598	1	33.9	+30	39	Tri	62 × 39	5.7	S	
34	1039	2	42.0	+42	47	Per	35	5.2	OC	

Messier Số	NGC	α (2000)		δ (2000)		Chòm sao	Kích thước Phút góc	V Cấp sao	loại	Tên
35	2168	6	08.9	+24	20	Gem	28	5.1	OC	
36	1960	5	36.1	+34	08	Aur	12	6.0	OC	
37	2099	5^h	$52^m.4$	$+32^0$	33'	Aur	24	5.6	OC	
38	1912	5	28.7	+35	50	Aur	21	6.4	OC	
39	7092	21	32.2	+48	26	Cyg	32	4.6	OC	
40		12	22.4	+58	05	UMa		8:		
41	2287	6	47.0	−20	44	CMa	38	4.5	OC	
42	1976	5	35.4	−5	27	Ori	66 ×60	4:	Di	Orion Nebula
43	1982	5	35.6	−5	16	Ori	20 × 15	9:	Di	
44	2632	8	40.1	+19	59	Cnc	95	3.1	OC	Praesepe
45		3	47.0	+24	07	Tau	110	1.2	OC	Pleiades
46	2437	7	41.8	−14	49	Pup	27	6.1	OC	
47	2422	7	36.6	−14	30	Pup	30	4.4	OC	
48	2548	8	13.8	−5	48	Hya	54	5.8	OC	
49	4472	12	29.8	+8	00	Vir	9 × 7	8.4	E	
50	2323	7	03.2	−8	20	Mon	16	5.9	OC	
51	5194−5	13	29.9	+47	12	CVn	11 × 8	8.1	S	Whirlpool Galaxy
52	7654	23	24.2	+61	35	Cas	13	6.9	OC	
53	5024	13	12.9	+18	10	Com	13	7.7	Gb	
54	6715	18	55.1	−30	29	Sgr	9	7.7	Gb	
55	6809	19	40.0	−30	58	Sgr	19	7.0	Gb	
56	6779	19	16.6	+30	11	Lyr	7	8.2	Gb	
57	6720	18	53.6	+33	02	Lyr	1	9.0:	Pl	Ring Nebula
58	4579	12	37.7	+11	49	Vir	5 × 4	9.8	S	
59	4621	12	42.0	+11	39	Vir	5 × 3	9.8	E	
60	4649	12	43.7	+11	33	Vir	7 × 6	8.8	E	
61	4303	12	21.9	+4	28	Vir	6 × 5	9.7	S	
62	6266	17	01.2	−30	07	Oph	14	6.6	Gb	
63	5055	13	15.8	+42	02	CVn	12 × 8	8.6	S	
64	4826	12	56.7	+21	41	Com	9 × 5	8.5	S	
65	3623	11	18.9	+13	05	Leo	10 × 3	9.3	S	
66	3627	11	20.2	+12	59	Leo	9 × 4	9.0	S	
67	2682	8	50.4	+11	49	Cnc	30	6.9	OC	
68	4590	12	39.5	−26	45	Hya	12	8.2	Gb	
69	6637	18	31.4	−32	21	Sgr	7	7.7	Gb	
70	6681	18	43.2	−32	18	Sgr	8	8.1	Gb	
71	6838	19	53.8	+18	47	Sge	7	8.3	Gb	
72	6981	20	53.5	−12	32	Aqr	6	9.4	Gb	
73	6994	20	58.9	−12	38	Aqr				
74	628	1	36.7	+15	47	Psc	10 × 9	9.2	S	

Messier Số	NGC	α (2000)		δ (2000)		Chòm sao	Kích thước Phút góc	V Cấp sao	loại	Tên
75	6864	20	06.1	–21	55	Sgr	6	8.6	Gb	
76	650 –1	1	42.4	+51	34	Per	2 × 1	11.5:	Pl	
77	1068	2	42.7	–0	01	Cet	7 × 6	8.8	S	
78	2068	5	46.7	+0	03	Ori	8 × 6	8:	Di	
79	1904	5	24.5	–24	33	Lep	9	8.0	Gb	
80	6093	16	17.0	–22	59	Sco	9	7.2	Gb	
81	3031	9	55.6	+69	04	UMa	26 × 14	6.8	S	
82	3034	9	55.8	+69	41	UMa	11 × 5	8.4	Ir	
83	5236	13	37.0	–29	52	Hya	11× 10	7.6:	S	
84	4374	12	25.1	+12	53	Vir	5 × 4	9.3	E	
85	4382	12	25.4	+18	11	Com	7 × 5	9.2	E	
86	4406	12	26.2	+12	57	Vir	7 × 6	9.2	E	
87	4486	12	30.8	+12	24	Vir	7	8.6	E	Virgo A
88	4501	12	32.0	+14	25	Com	7 × 4	9.5	S	
89	4552	12	35.7	+12	33	Vir	4	9.8	E	
90	4569	12	36.8	+13	10	Vir	10 × 5	9.5	S	
91	4548	12	35.4	+14	30	Com	5 × 4	10.2	S	
92	6341	17^h	$17^m.1$	$+43^0$	08'	Her	11	6.5	Gb	
93	2447	7	44.6	–23	52	Pup	22	6.2:	OC	
94	4736	12	50.9	+41	07	CVn	11 × 9	8.1	S	
95	3351	10	44.0	+11	42	Leo	7 × 5	9.7	S	
96	3368	10	46.8	+11	49	Leo	7 × 5	9.2	S	
97	3587	11	14.8	+55	01	UMa	3	11.2:	Pl	Owl Nebula
98	4192	12	13.8	+14	54	Com	10 × 3	10.1	S	
99	4254	12	18.8	+14	25	Com	5	9.8	S	
100	4321	12	22.9	+15	49	Com	7 × 6	9.4	S	
101	5457	14	03.2	+54	21	UMa	27 × 26	7.7	S	
102										M101 quan sát lại
103	581	1	33.2	+60	42	Cas	6	7.4:	OC	
104	4594	12	40.0	–11	37	Vir	9 x 4	8.3	S	Sombrero Galaxy
105	3379	10	47.8	+12	35	Leo	4 × 4	9.3	E	
106	4258	12	19.0	+47	18	CVn	18 × 8	8.3	S	
107	6171	16	32.5	–13	03	Oph	10	8.1	Gb	
108	3556	11	11.5	+55	40	UMa	8 × 2	10.0	S	
109	3992	11	57.6	+53	23	UMa	8 × 5	9.8	S	
110	205	0	40.4	+41	41	And	17 × 10	8.0	E?	

: Biểu thị giá trị gần đúng.

Các loại Thiên Hà: diffuse nebula (Di), globular cluster (Gb), open cluster (OC), planetary nebula (Pl), or galaxy (E for ellipitcal, Ir for inrregular, S for spiral). (Adapted from sky catalogue 2000.0, vol. 2, sky Publishing Cor. 1985).

BẢN ĐỒ BẦU TRỜI SAO

CÁC CHÒM SAO TRÊN HOÀNG ĐỚI

Cấp sao Sao đôi Sao biến quang

CÁC CHÒM SAO TRÊN HOÀNG ĐỚI

Phụ lục VIII

ĐỒNG HỒ THIÊN VĂN

Trong khi quan trắc thiên văn, người ta phải ghi thời điểm quan sát. Độ chính xác về thời gian phụ thuộc vào độ chính xác của đồng hồ. Vì vậy các đồng hồ dùng trong thiên văn phải được chế tạo một cách tinh vi để đảm bảo độ chính xác cao. Trong các thế kỷ trước, đồng hồ con lắc là kiểu đồng hồ thông dụng. Chu kỳ của con lắc phụ thuộc vào độ dài của nó và phụ thuộc vào áp suất không khí. Để đảm bảo chu kỳ dao động không đổi (đảm bảo nhịp chạy đều của đồng hồ) người ta đã dùng những hợp kim đặc biệt (ít co dãn theo nhiệt độ) để chế tạo con lắc và bộ phận này còn được đặt trong lồng kín (có áp suất thấp). Toàn bộ đồng hồ được đặt trong buồng kín ở độ sâu từ 10 – 12m.

Một đồng hồ con lắc thiên văn hoàn chỉnh bao gồm hai con lắc. Một con lắc được gọi là tự do (đặt trong buồng kín, dưới hầm sâu) có chu kỳ dao động gần như không đổi. Dao động của con lắc tự do này được truyền đến một con lắc thứ cấp (có gắn bộ phận kim quay) đặt ở phòng làm việc qua thiết bị điện. Đến giữa thế kỷ XX, người ta đã chế tạo loại đồng hồ có độ chính xác cao là đồng hồ thạch anh mà nguyên tắc hoạt động của nó dựa vào hiệu ứng áp điện của tinh thể thạch anh. Ở đây vai trò của con lắc là tấm tinh thể thạch anh được đặt trong một điện trường biến thiên với tần số cao. Tấm thạch anh sẽ dao động đàn hồi khi đạt tiêu chuẩn cộng hưởng (vào khoảng từ 50000 – 1000000Hz). Dao động này sẽ được khuếch đại (về biên độ) và được hạ tần số xuống khoảng 1000Hz, trước khi chuyển đến bộ phận làm quay kim đồng hồ. Đồng hồ thạch anh là một dụng cụ điện tử phức tạp có độ chính xác cao (sai số ± 0,0002 giây trong một ngày).

Đến đầu thập kỷ 60 của thế kỷ XX các đồng hồ nguyên tử và phân tử ra đời. Đó là hệ thống thiết bị có dao động tử thạch anh được chế ngự bởi tần số gây nên do sự chuyển trạng thái của nguyên tử hay phân tử như Xêdi (Cs) amoniac (NH_3), hiđrô, Rubidi... người ta thấy rằng, đồng hồ nguyên tử xêdi có nhiều ưu điểm: ổn định lâu dài, có độ chính xác cao, tuỳ theo thời gian khảo sát, sai số tương đối đạt tới $10^{-12} \div 10^{-14}$. Nhờ độ chính xác của đồng hồ ngày được nâng lên cho đơn vị thời gian là giây, ký hiệu là s, không thay đổi nhưng chuẩn của nó đã thay đổi.

Trước đây, 1s = 1/86400 ngày Mặt Trời trung bình. Khi có đồng hồ chính xác, phát hiện thấy rằng, do ma sát thuỷ triều tốc độ quay của Trái Đất giảm dần tuy vô cùng bé. Đến năm 1955, hội nghị đo lường tiêu chuẩn quốc tế quyết định 1s = 1/31556925,9747 độ dài năm xuân phân vào thời điểm 1900,0.

Hiện nay, chuẩn đơn vị thời gian là:

"Giây là khoảng thời gian bằng 9.192.631.770 chu kỳ bức xạ tương ứng sự chuyển giữa hai mức năng lượng tinh tế của trạng thái cơ bản nguyên tử Cs 133".

Đơn vị giây là đơn vị thời gian của hệ thống đơn vị quốc tế (SI) với đồng hồ nguyên tử xêdi mỗi năm chỉ có sai số khoảng 0,03 miligiây.

Phụ lục IX

ĐỒNG HỒ MẶT TRỜI

Trước công nguyên con người đã biết dựa vào hiện tượng nhật động của Mặt Trời để xác định thời gian và sáng chế ra một dụng cụ được gọi là đồng hồ Mặt Trời. Ngày nay, có nhiều loại đồng hồ chính xác nhưng đồng hồ Mặt Trời có thể dùng làm vật trang trí ở các công viên, các lâu đài cung điện, nhất là ở vườn trường, vườn địa lý, sân quan sát thiên văn... Nó giúp cho học sinh theo dõi sự thay đổi toạ độ của Mặt Trời trong một năm.

Đồng hồ Mặt Trời gồm một thanh thẳng đặt song song với trục vũ trụ (theo phương của trục quay của Trái Đất) và một tấm hình chữ nhật làm mặt đồng hồ. Mặt đồng hồ đặt song song với mặt phẳng xích đạo là đồng hồ kiểu xích đạo, mặt đồng hồ nằm trong mặt phẳng ngang là đồng hồ kiểu chân trời. Nếu mặt đồng hồ là mặt thẳng đứng theo phương đông tây là đồng hồ thẳng đứng Đông – Tây.

1. Đồng hồ Mặt Trời kiểu xích đạo

Đồng hồ này gồm có một cái que cắm thẳng góc với một tấm ván. Tấm ván làm mặt đồng hồ. Mặt đồng hồ được đặt song song với mặt xích đạo và do đó que sẽ nằm theo phương song song với trục vũ trụ (H.1). Như vậy, mặt đồng hồ nghiêng với phương nằm ngang một góc 90°–φ (φ là vĩ độ nơi đặt đồng hồ). Do nhật động của Mặt Trời từ Đông sang Tây mà bóng của que cũng quay đều trên mặt từ Tây sang Đông, cứ mỗi giờ bóng quay được 15°. Rõ ràng lúc giữa trưa bóng que in theo phương đường Bắc Nam (12h).

Hình 1

2. Đồng hồ Mặt Trời kiểu chân trời

Mặt đồng hồ loại này được đặt theo phương nằm ngang. Que được cắm nghiêng với mặt một góc bằng vĩ độ địa lý. Đồng hồ được đặt sao cho que nằm song song với trục vũ trụ (H.2).

Do nhật động, Mặt Trời chuyển động quanh trục vũ trụ (trong mặt phẳng thẳng góc với trục vũ trụ). Như vậy, mặt đồng hồ không song song với mặt phẳng nhật động của Mặt Trời (nghiêng một góc bằng 90° – φ) nên bóng que quét trên mặt đồng hồ với vận tốc không đều, từ đó các vạch chia giờ trên mặt đồng hồ này cũng không đều. Muốn khắc giờ trên mặt ta phải tính góc quay của bóng que ứng với từng giờ nhất định trong ngày. Ví dụ Mặt Trời ở vị trí S (H3) ứng với góc giờ t. Bóng của que OP là IO nằm trên giao tuyến của mặt đồng hồ và mặt phẳng của vòng giờ qua S.

Hình 2

Hình 3

Trên hình vẽ BN là đường Bắc Nam. Khi bóng của que in lên đường OB là ứng với 12h và in lên IO là ứng với t^h. Như vậy, ta cần tính góc BOI hay cung BI = x. Từ tam giác cầu PBI vuông góc tại B ta có:

$$\tan BI = \sin BP.\ \tan \widehat{BPI}$$

hay $$\tan x = \sin\varphi.\tan t$$

Ta thấy độ chia trên mặt đồng hồ cho các giờ trong ngày phụ thuộc vào vĩ độ φ của nơi đặt đồng hồ. Ta cũng dễ hình dung được rằng các vạch ứng với 6, 7, 8, 9, 10, 11 giờ sáng sẽ đối xứng với 6, 5, 4, 3, 2, 1 giờ chiều qua vạch 12h. Sau đây là bảng ghi tính cho Hà Nội có vĩ độ φ = 21°

Giờ	$11^h(1^h)$	$10^h(2^h)$	$9^h(3^h)$	$8^h(4^h)$	$7^h(5^h)$	$6^h(6^h)$
Độ chia x	$5^0 5$	$11^0 7$	$19^0 7$	$31^0 7$	$3^0 2$	90^0

Cần biết rằng đồng hồ Mặt Trời chỉ giờ Mặt Trời thực địa phương. Muốn quy về giờ sinh hoạt (giờ múi) thì phải hiệu chính với phương trình thời gian và độ kinh nơi đặt đồng hồ. Trong sinh hoạt bình thường không đòi hỏi độ chính xác cao thì ta có thể sử dụng giờ của đồng hồ Mặt Trời.

3. Đồng hồ Mặt Trời kiểu thẳng đứng Đông – Tây

Ở miền Nam nước ta có vĩ độ thấp nên đồng hồ Mặt Trời kiểu chân trời không tiện lợi bằng đồng hồ Mặt Trời kiểu thẳng đứng Đông – Tây. Kim đồng hồ cũng song song với trục vũ trụ còn mặt đồng hồ là mặt phẳng thẳng đứng theo hướng Đông – Tây lúc 12h bóng của kim trên mặt đồng hồ theo phương thẳng đứng (H4) 6h sáng bóng của kim đồng hồ ngả về phía Tây, 18h bóng của kim ngả về phía Đông. Khoảng cách giữa các giờ không bằng nhau.

Hình 4

Trên hình 5, ví dụ khi Mặt Trời ở S, bóng của kim theo phương OI. Xét tam giác cầu PIZ'; P là thiên cực Bắc, Z' là thiên để đây là tam giác vuông tại Z'. Cạnh PZ' = φ + 90°. Góc ở P bằng góc giữa vòng kinh tuyến và vòng giờ ký hiệu là t. Trong tam giác cầu vuông này ta có:

Hình 5

tanZ'I = sinPZ' tgZ'PI gọi cung Z'I cần tìm là x

tanx = sin (90 + φ) tant = cosφtan

Vì các vạch ứng với 6, 7, 8, 9, 10, 11 giờ sáng đối xứng với các vạch 6, 5, 4, 3, 2, 1 giờ chiều qua vạch 12h (vạch thẳng đứng. Sau đây là bảng ghi các vạch chia giờ cho đồng hồ kiểu thẳng đứng đối với Hà Nội có vĩ độ $\varphi = 21^{o}$.

Giờ	$11^{h}(1^{h})$	$10^{h}(2^{h})$	$9^{h}(3^{h})$	$8^{h}(4^{h})$	$7^{h}(5^{h})$	$6^{h}(6^{h})$
x	14^{0},0	$28^{0}3$	43^{0},0	58^{0},3	74,^{0}0	90^{0}

Nước ta ở miền nhiệt đới nên về mùa hè có những ngày Mặt Trời ở phía Bắc thiên đỉnh nên các kiểu đồng hồ xích đạo và thẳng đứng Đông – Tây cần phải chia giờ cả hai phía của mặt đồng hồ.

Phụ lục X

CÁC KÝ HIỆU THƯỜNG DÙNG TRONG THIÊN VĂN

☉	Mặt Trời cũng là chủ nhật	•	Sao
☾	Mặt Trăng cũng là thứ hai		
♂	Hoả tinh cũng là thứ ba	↙	Sao băng
♀	Thuỷ tinh cũng là thứ tư		
♃	Mộc tinh cũng là thứ năm	(86)	Tiểu hành tinh số 86
♅	Kim tinh cũng là thứ sáu		
♄	Thổ tinh cũng là thứ bảy		
⊕	Trái Đất		
⚢	Thiên tinh		
ψ	Hải tinh		
PL	Hành tinh lùn Diêm tinh	O Trăng tròn	● Không trăng

Các chòm sao dọc theo hoành đạo (hoàng đới)

Ký hiệu	Chòm sao	Cung hoàng đạo	Tháng mà Mặt Trời đi qua
♈	Bạch dương cũng là điểm xuân phân. Ngày nay điểm xuân phân ở chòm sao Song Ngư	0^0 — 30^0	Tháng Tư
♉	Kim Ngư (con trâu)	30 — 60	Tháng Năm
♊	Song Tử	60 — 90	Tháng Sáu
♋	Cự Giải (con Tôm)	90 — 120	Tháng Bảy
♌	Sư Tử	120 — 150	Tháng Tám
♍	Trinh Nữ	150 — 180	Tháng Chín
♎	Thiên Bình (Cái Cân cũng là điểm Thu phân ngày nay điểm Thu phân ở chòm Trinh Nữ	180 – 210	Tháng Mười
♏*	Thần Nông	210 — 240	Tháng Mười một
♐	Nhân Mã	240 – 270	Tháng Mười hai
♑	Ma Kết (Con Hươu)	270 – 300	Tháng Một
♒	Báu Bình	300 – 330	Tháng Hai
♓	Song Ngư	330 – 360	Tháng Ba

Phụ lục XI

HIỆU ỨNG DOPPLER TƯƠNG ĐỐI TÍNH

Khi một vật bức xạ đứng yên có bước sóng λ, nếu vật chuyển động với vận tốc v thì bước sóng thu được sẽ là $\lambda \pm \Delta\lambda$, dấu (+) khi vật đi ra xa, dấu (–) khi vật đi tới gần máy thu và ta có $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$ hay $v = (\Delta\lambda/\lambda)c$. Trong đó v là vận tốc của nguồn bức xạ, c là vận tốc ánh sáng. Hệ thức này được áp dụng khi v bé hơn rất nhiều so với c. Khi v có giá trị đáng kể so với c mà dùng hệ thức trên thì v có sai số 1 phần trăm khi $\lambda/\Delta\lambda$ bằng 0,02 và sai số tới 5 phần trăm khi $\Delta\lambda/\lambda$ là 0,1. Vì vậy cần phải dùng công thức tương đối tính khi vận tốc tương đối lớn chỉ khác vận tốc ánh sáng một số phần trăm.

Để đơn giản các nhà thiên văn thường dùng ký hiệu z để biểu diễn độ dịch chuyển Doppler:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$$

Từ thuyết tương đối hẹp của Einstein có thể chứng minh được rằng hệ thức giữa độ dịch chuyển của bước sóng và vận tốc của vật phát xạ là:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \sqrt{\frac{1+\frac{v}{c}}{1-\frac{v}{c}}} - 1$$

Từ đó dẫn đến biểu thức của vận tốc là:

$$v = c\left[\frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}\right]$$

Áp dụng hệ thức này để xét sự dịch chuyển về phía đỏ của quasar. Một trong những quasar được phát hiện đầu tiên là 3C273 có z = 0,16. Nếu dùng công thức đơn giản (không tương đối tính, quasar này có vận tốc bằng 0,16c= 48000km/s. Khi dùng công thức tương đối tính thì v = 0,147c = 44200km/s. Trong trường hợp này dùng công thức sai sẽ dẫn đến sai số hơn 9 phần trăm. Quasar có độ dịch chuyển về phía đỏ vào loại lớn có z = 3,8. Nếu không dùng công thức tương đối tính thì dẫn đến vận tốc của nó bằng 3,8 lần vận tốc ánh sáng. Khi dùng công thức đúng theo tương đối tính thì v = 0,917 c = 275000km/s vẫn là vận tốc rất lớn.

Phụ lục XII

CÁC PHẢN ỨNG HẠT NHÂN TRONG CÁC SAO

Sử dụng các ký hiệu: ${}^{A}_{z}X$ là hạt nhân x có nguyên tử số là z. Số khối là A: e^+ là pozitron

ν là nơtrinô

γ là tia gamma

Phản ứng dây chuyền proton – proton

$${}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + e^+ + \nu$$

$${}^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \gamma$$

Hạt ${}^{3}_{2}He$ là một dạng hêli nhưng chưa phải là dạng phổ biến. Hạt này lại tổ hợp một lần nữa:

$${}^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H$$

Cuối cùng chúng ta thu được hạt nhân hêli bình thường. Như vậy tất cả có tới 6 hạt nhân hiđrô tham gia vào phản ứng. Vì số khối được bảo toàn nên cuối cùng chỉ có 4 hạt nhân hiđrô tạo thành một hạt nhân hêli.

Phản ứng vòng CNO

Phản ứng vòng CNO xảy ra chủ yếu ở nhiệt độ cao hơn và phức tạp hơn. Phản ứng không chỉ cần có cacbon mà cần có nitơ và oxy nữa. Mỗi nguyên tố này không chỉ một dạng mà cả đồng vị khác nhau về số nơtron. Các đồng vị không ổn định có thể bức xạ pozitron thành loại khác trong quá trình phản ứng:

$${}^{12}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{13}_{7}N + \gamma$$

$${}^{13}_{7}N \rightarrow {}^{13}_{6}C + e^+ + \nu$$

$${}^{13}_{6}C + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{14}_{7}H + \gamma$$

$${}^{14}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{15}_{8}O + \gamma$$

$${}^{15}_{8}O \rightarrow {}^{15}_{7}N + e^+ + \nu$$

$${}^{15}_{7}N + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{4}_{2}He$$

Các phản ứng này thu được hạt nhân hêli và cacbon trong quá trình đó có bốn hạt nhân hiđrô và một hạt nhân cacbon với 3 đồng vị

nitơ và 1 đồng vị oxy tham gia với vai trò trung gian. Do bảo toàn số khối, cuối cùng 4 hạt nhân hiđrô đã tạo thành hạt nhân hêli.

Phản ứng tổng hợp hạt anpha

Trong các sao khi đã có phản ứng nhiệt hạt nhân nhờ có sẵn hiđro đã tạo được hêli thì có thể bắt đầu một loại phản ứng mới trong đó hêli được tổng hợp thành cacbon. Hạt nhân hêli có 2 proton và 2 nơtron được gọi là hạt anpha và phản ứng mới được gọi là tổng hợp ba hạt anpha (anpha tam hợp) theo các phương trình:

$$^{4}_{2}He + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{8}_{4}Be$$

$$^{8}_{4}Be + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{12}_{6}C + \gamma$$

Trong phản ứng đầu hai hạt $^{4}_{2}He$ thành hạt $^{8}_{4}Be$ không ổn định và chỉ tồn tại trong thời gian rất ngắn rồi trực tiếp lấy hạt $^{4}_{2}He$ thứ ba để thành hạt nhân $^{12}_{6}C$.

Các phản ứng khác

Sau khi hêli được tổng hợp trong phản ứng ba hạt anpha, một phản ứng khác có thể xảy ra nếu nhiệt độ trong lòng ngôi sao đủ cao. Ví dụ cacbon bắt một hạt anpha:

$$^{12}_{6}C + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{18}_{8}O + e^{+} + \nu$$

và

$$^{18}_{8}O + ^{4}_{2}He \rightarrow ^{22}_{10}Ne + \nu$$

Các phản ứng bắt thêm hạt anpha có thể xảy ra nhưng phải ở nhiệt độ đủ cao và phức tạp hơn. Ví dụ hai hạt nhân cacbon có thể phản ứng tạo thành một số sản phẩm khác bao gồm natri, nêôn và ma nhê. Hai hạt nhân oxy cũng có thể phản ứng tạo ra các sản phẩm như lưu huỳnh, phospho, silic và ma nhê. Ở các sao khối lượng lớn đang tiến hoá và co lại rồi nóng lên sau mỗi giai đoạn phản ứng. Sự biến đổi các nguyên tố mở rộng, nói chung làm tăng nguyên tử số, các nguyên tố nặng hơn, phức tạp hơn được tạo thành trong lòng các sao như sắt $\left(^{56}_{26}Fe\right)$. Chỉ có sao có nhân là sắt mới không có thể trải qua những giai đoạn phản ứng lâu hơn, mới không có sự tàn phá sớm bởi sự nổ sao siêu mới hay suy sụp thành sao nơtron hay lỗ đen.

PHẦN TRẢ LỜI BÀI TẬP

Chương I. ĐỘNG LỰC HỌC HỆ MẶT TRỜI

1.4. $s = \pi ab = \pi a^2\sqrt{1-e^2}$; $r_c = a - c = a(1-e)$; $r_v = a + c = a(1+e)$.

$$C = \frac{1}{2}rv = \frac{S}{T} = \frac{\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{T}; v = \frac{2\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{rT}, v_c = \frac{2\pi a^2\sqrt{1-e^2}}{a(1+e)T} = \frac{2\pi a}{T}\sqrt{\frac{1-e}{1+e}},$$

Tương tự ta có: $v_v = \frac{2\pi a}{T}\sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$ và $\frac{v_c}{v_v} = \frac{1+e}{1-e} = \frac{r_v}{r_c}$ $\Rightarrow r_c v_c = r_v v_v$.

Một cách giải khác:

$v^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$. Ta có $r_c = a(1-e)$ và $r_v = a(1+e)$.

$$\frac{T2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{K} \Rightarrow K = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}.$$

$$v_c^2 = K\left(\frac{2}{r_c} - \frac{1}{a}\right) = K\left(\frac{2}{a(1-e)} - \frac{1}{a}\right) = \frac{2\pi a}{T}\left(\frac{1+e}{1-e}\right)$$

Tương tự ta có: $v_v = \frac{2\pi a}{T}\sqrt{\frac{1+e}{1-e}}$ và $\frac{v_c}{v_v} = \frac{1+e}{1-e} = \frac{r_v}{r_c}$ $\Rightarrow r_c v_c = r_v v_v$.

1.5. $v^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$. Quỹ đạo tròn nên r = a, nên $v = \sqrt{\frac{2K}{r}}$, K = G(M + m).

Thay số: $G = 6{,}67.10^{-11} m^3/kg.s^2$, $M = 1{,}99.10^{30}$kg,
$m = 5{,}98.10^{24}$kg, r = 1đvtv = $1{,}49.10^{11}$m,

Ta được: v = 30km/s = 2570000 km/ngày = 940 triệu km/năm.

Muốn Trái Đất thoát khỏi Hệ Mặt Trời thì $v_2 = v_1\sqrt{2}$ = 42 km/s.

1.6. $\frac{a^3}{(R+h)^3} = \frac{T_D^2}{T_v^2}$, $a = 1{,}49.10^{11}$ m, $R = 6{,}378.10^6$ m, T_D = 366 ngày,

T_v = 1 ngày. $R + h = \frac{a\sqrt[3]{T_v^2}}{\sqrt[3]{T_D^2}}$, $h = \frac{a\sqrt[3]{T_v^2}}{\sqrt[3]{T_D^2}} - R$ = 36400km.

$$\frac{m_1 v^2}{R+h} = G\frac{mm_1}{(R+h)^2}, \quad v = \sqrt{G\frac{m}{R+h}} \Rightarrow v = 3\text{km/s}.$$

1.7. $F_S = G\frac{Mm_1}{R^2}$, $F_D = G\frac{mm_1}{r^2}$, $M = \frac{10^6 m}{3}$,

$m = 81m_1$, r = 380000 km, R = 15010^6km.

$$\frac{F_s}{F_D} = \frac{1}{3}\frac{10^6(380.000)^2}{(150.10^6)^2} = \frac{38^2}{3.15^2} \approx 2\text{lần}.$$

1.9. Biết r_c, v_c, tính r_v, v_v.

$$v_c^2 = K\left(\frac{2}{r_c} - \frac{2}{r_c + r_v}\right) \rightarrow r_v = \frac{v_c^2 r_c^2}{2K - v_c^2 r_c}, \quad v_v = \frac{2K - v_c^2 r_c}{v_c r_c}.$$

1.11. Từ bề mặt Trái Đất, vệ tinh nhận vận tốc v_0 và bay lên độ cao h, khi đó vệ tinh ở vị trí H có v = 0, nên: $v_0^2 = K\left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{r}\right)$.

Vậy vận tốc phóng v_0 của vệ tinh là: $v_0 = \left[K\left(\frac{2}{r_0} - \frac{1}{r}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$

Khi truyền cho vệ tinh một vận tốc v, nó sẽ chuyển động theo quỹ đạo elip với tâm sai e và thông số p. Ở đây sẽ có 2 trường hợp: H là cận điểm của quỹ đạo elíp hoặc H là viễn điểm.

– Nếu H là cận điểm thì : $r_c = \frac{p}{1+e}, a = \frac{p}{1-e^2}$,

$$v_c^2 = K\left(\frac{2}{r_c} - \frac{1}{a}\right) = K\left[\frac{2(1+e)}{p} - \frac{1-e^2}{p}\right] = \frac{K}{p}(1+e^2) \Rightarrow v_c = (1+e)\sqrt{\frac{K}{p}}.$$

– Nếu H là viễn điểm thì: $r_c = \frac{p}{1-e}$, $v_{1v} = (1-e)\sqrt{\frac{K}{p}}$.

Tại viễn điểm, vệ tinh có vận tốc v_v, muốn cho vệ tinh trở lại trên mặt đất thì phải giảm vận tốc của nó $\Delta v = v_v - v'_v$. Tính v'_v.

$v_v'^2 = K\left(\frac{2}{r'_v} - \frac{1}{a'}\right)$ ở đây $r'_v = r_v = \frac{p}{1-e}$ và $a = \frac{r_o + r'_v}{2} = \frac{p + r_o(1-e)}{2(1-e)}$.

Vậy: $v_v'^2 = K\left[\frac{2(1-e)}{p} - \frac{2(1-e)}{p + r_o(1-e)}\right]$ và $v'_v = r_o(1-e)\sqrt{\frac{2Kr_o}{p[p + r_o(1-e)]}}$

$$\Delta v = V_v - v'_v = (1-e)\sqrt{\frac{K}{p}}\left[1 - \frac{\sqrt{2r_o}}{\sqrt{p[p + r_o(1-e)]}}\right]$$

1.12. Tính chu kỳ Hoả tinh:

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = 1 \quad T_2^2 = a_2^3 = (1,6)^3 = 4,096 \Rightarrow T_2 = 2 \text{ năm}$$

(ở đây Trái Đất có T_1= 1 năm, a_1 = 1đvtv).

Tính chu kỳ của trạm: $\frac{T_3^2}{(1,3)^3} = 1 \Rightarrow T_3^2 = 2,197 \Rightarrow T_3 = 1,48$ năm.

Thời gian trạm bay từ Trái Đất ở D đến Hoả tinh ở H_1 là $t = T_3/2 = 9$ tháng. Khi trạm bay đến Hoả tinh ở vị trí H_1, Trái Đất đã bay được 3/4 năm, ở vị trí D_1.

Nếu phóng trạm ngay sau khi trạm đổ bộ Hoả tinh ở H_1, thì sau 9 tháng, trạm quay về ở vị trí D, nhưng trong thời gian đó Trái Đất đã đi được 3/4 vòng, tức là ở vị trí D_2, như vậy trạm không đổ bộ lên mặt đất được.

Phương án phóng trạm từ Hoả tinh để nó quay về Trái Đất là: Trong 1 năm, Trái Đất quay được một vòng, trở về vị trí D_1, còn trạm nằm chờ trên Hoả tinh và cùng Hoả tinh đi đến vị trí H_2. Từ H_2, phóng trạm đi từ Hoả tinh. Sau 9 tháng, Trái Đất đi được 3/4 vòng, về vị trí D_2, còn trạm bay được 1/2 vòng, tức là cũng về D_2. Khi đó trạm đổ bộ xuống mặt đất.

Vậy thời gian từ khi phóng trạm đến lúc nó quay về Trái Đất là: 9 tháng + 1 năm + 9 tháng = 2,5 năm.

1.13.

D: Trái Đất; H_1, H_2: vị trí vệ tinh trên độ cao 230km;

C: Cận điểm quỹ đạo Mặt Trăng. V: viễn điểm quỹ đạo Mặt Trăng.

$$DV = a(1 + e) = 405000 \text{ km} = r_v,$$

$$DC = a(1 - e) = 363000 \text{ km} = r_c.$$

$$DH_1 = DH_2 = r = r_o + h = 6370 + 230 = 6600\text{km}.$$

Khi đổ bộ cận điểm quỹ đạo Mặt Trăng tại C, thì

$$a_c = \frac{r + r_c}{2} = 184800\text{km. và}$$

$$v_c^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a_c}\right) = 396600\text{km}^3/\text{s}^2 = \left(\frac{2}{6600\text{km}} - \frac{1}{184800\text{km}}\right) \Rightarrow v_1 = 10,86\text{km/s}.$$

Khi đổ bộ viễn điểm quỹ đạo Mặt Trăng tại V, thì

$$a_v = \frac{r + r_v}{2} = 205800\text{km. và}$$

$$v_v^2 = K\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a_v}\right) = 396600\text{km}^3/\text{s}^2 = \left(\frac{2}{6600\text{km}} - \frac{1}{205800\text{km}}\right) \Rightarrow v_1 = 10,87\text{km/s}$$

1.14. $V = \frac{2\pi r}{T}$, $r = r_0 + h$, $T = 90 \times 60$ s = 5400s.

$$a = \frac{V^2}{R} = \frac{(7,76)^2}{6.673} = 0,009 km/s^2 = 9m/s^2.$$

1.15. $$\frac{360^o}{7 \text{ ngày}} - \frac{360^o}{27,3 \text{ ngày}} = \frac{360^o}{T_{gh}} \Rightarrow T_{gh} = 9,4 \text{ ngày}.$$

$$\frac{a^3}{(R+h)^3} = \frac{T_D^2}{T_v^2} \rightarrow R + h = \frac{a\sqrt[3]{T_v^2}}{\sqrt[3]{T_D^2}} = 7740km \Rightarrow h = 7740 - 6380 = 1370km$$

1.16. Vận tốc thoát của Mặt Trăng:

$$V_2 = \sqrt{2}V_1;\ V_1 = \sqrt{\frac{Gm}{r}} = g_{T_0} r_T = 1,7km/s;\ V_2 = \sqrt{2}V_1 = 2,4km/s^2$$

Chương II. HỆ TRÁI ĐẤT – MẶT TRĂNG

2.1. Khi khoảng cách góc từ Kim tinh đến Mặt Trời cực đại thì phương tia nhìn Kim tinh tiếp tuyến với quỹ đạo Kim tinh. Vậy:

$$a_k = a_D \sin 48^o,\ a_D = 1 dvtv, a_K = 0,743 \text{ dvtv}.$$

Từ định luật 3 Kepler:

$$T_K = T_D\sqrt{\left(\frac{a_K}{a_D}\right)^3} = 224,7 \text{ ngày}.$$

Chu kỳ quay của Trái Đất quanh Mặt Trời là 365,25 ngày, của Kim tinh là 224,7 ngày. Gọi T_{gh} là chu kỳ Kim tinh và Trái Đất giao hội (Mặt Trời, Trái Đất, Kim tinh thẳng hàng). Ta có

$$\frac{360^o}{224,7} = \frac{360^o}{365.25} = \frac{360^o}{T_{gh}} \Rightarrow T_{gh} = 584 \text{ ngày}.$$

Kim tinh từ vị trí Sao Hôm sau khoảng thời gian nửa chu kỳ giao hội sẽ chuyển sang vị trí Sao Mai đối xứng.

2.2. Các sao α và β tạo với thiên cực bắc P một tam giác cầu. Gọi khoảng cách giữa hai sao là a. Áp dụng công thức cosin trong tam giác cầu, ta có:

$$\cos a = \cos(90^o - \delta_1)\cos(90^o - \delta_2) + \sin(90^o - \delta_1)\sin(90^o - \delta_2)\cos\Delta\alpha$$

với $\Delta\alpha = \alpha_1 - \alpha_2$. Thay các giá trị bằng số, ta được: $a = 3,63^o = 3^o38'$.

2.3. Sao α chòm Thần Nông ở nam thiên cầu khi đi qua kinh tuyến trên tại Hà Nội có độ phương A = 0, độ cao $h = 90 - \varphi - |\delta| = 42^o38'$.

2.4. Khi điểm xuân phân qua kinh tuyến trên thì các sao có xích kinh

12^h qua kinh tuyến dưới. Vậy sao Chức Nữ ở trên đường chân trời về phía tây và cách xích đạo 38°40'. Đối với Thành phố Hồ Chí Minh có vĩ độ khoảng 10°, nên khi ấy sao Chức Nữ ở phía tây – bắc của bầu trời và góc giời của nó là: $t = 5^h\ 26^{ph}$.

2.5. Gọi ε là góc nghiêng giữa hoàng đạo và xích đạo. ở bắc bán cầu những nơi có vị độ $\varphi = 90° - \varepsilon$ vào ngày hạ chí Mặt Trời vừa lặn vừa mọc ở điểm bắc. Hoàng hôn có thể kéo dài đến khi Mặt Trời ở dưới chân trời khoảng 6°. Do đó, những nơi có vĩ độ khoảng 60° trong thời gian gần ngày hạ chí sẽ có đêm trắng.

2.6. Khi sao có độ phương bằng không, nghĩa là ở trên kinh tuyến trời về phía nam thiên đỉnh. Vậy nơi quan sát có vĩ độ là:

$$\varphi = 90° - h + \delta = 18°40'$$

2.7. Ở nước ta lúc giữa trưa ngày thu phân, Mặt Trời ở nam thiên đỉnh. Ngày ấy Mặt Trời có xích vĩ $\delta = 0$, khoảng cách đỉnh là z. tanz = 0,374. Vậy vĩ độ nơi ấy là: $\varphi = z \approx 22°$.

2.8. Gia tốc trọng trường là $g = GM/R^2$. M là khối lượng Trái Đất, R là bán kính Trái Đất. Bán kính Trái Đất ở xích đạo lớn hơn ở địa cực 21,38km. Do đó, g phụ thuộc vào vĩ độ địa lý. Ngoài ra Trái Đất đang quay, trọng lượng của một vật là tổng hợp của lực hấp dẫn và lực quán tính li tâm. Lực quán tính li tâm có giá trị cực đại ở xích đạo và bằng không ở hai cực.

2.9. $g_t = 1,63\frac{m}{s^2}$, $g_T = 272\frac{m}{s^2}$, $g_m = \frac{G.318M_D}{(11,2R_D)^2} = \frac{318}{(11,2)^2}g = 24,9\frac{m}{s^2}$

2.10. Giờ trung bình địa phương: $T = T_o + \eta = 12^h2^{ph}40^s$.

Nước ta ở múi số 7 ứng với kinh tuyến 105°. Vậy giờ múi lúc ấy là

$$T_m = T - \Delta\lambda = 12^h0^{ph}40^s$$

Đồng hồ đeo tay chạy nhanh $3^{ph}40^s$.

Giờ quốc tế lúc ấy: $T_0 = 12^h00^{ph}40^s - 7^h = 5^h00^{ph}40^s$

Độ cao của Mặt Trời lúc ấy: $h = 90° - \varphi - |\delta| = 48°24'$

2.11. Độ dài năm dương lịch là khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp Mặt Trời đi qua điểm xuân phân. Do sự tiến động của Trái Đất, điểm xuân phân dịch chuyển mỗi năm khoảng 50". Khi bắt đầu dùng dương lịch, điểm xuân phân ở trong chòm Bạch Dương, đến nay đã hơn 2050 năm. Do đó, điểm xuân phân đã dịch chuyển trên hoàng đạo một cung gần 30°, nên hiện nay điểm xuân phân đang nằm trong chòm Song Ngư.

2.12. Mặt Trời dịch chuyển trên hoàng đạo phản ánh chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip với vận tốc cực đại khi đi qua cận điểm. Trái Đất đi qua cận điểm vào thượng tuần

tháng 7 hàng năm, mà trong thời gian này, Mặt Trời di chuyển trong chòm sao Cự Giải (con Tôm). Vậy Mặt Trời dịch chuyển trong chòm Cự Giải với thời gian ngắn nhất.

2.13. Theo âm lịch năm nhuận có 13 tháng nên có thể sai lệch với chu kỳ thời tiết có khi tới gần một tháng. Ngày tiết được chia theo vị trí của Mặt Trời trên hoàng đạo, theo dương dịch hàng năm ngày tiết gần như không đổi. Sản xuất nông nghiệp phải theo ngày tiết mới phù hợp với chu kỳ thời tiết.

2.14. Gọi mật độ hay khối lượng riêng của Trái Đất là $D_đ$, của Mặt Trời là D_t. Khối lượng của Trái Đất được suy ra từ gia tốc rơi tự do là $M_đ = \frac{gR_đ^2}{G}$, thể tích của Trái Đất là $\frac{4}{3}\pi R_đ^3$. Trái Đất chuyển động quanh Mặt Trời với chu kỳ T, bán trục lớn của quỹ đạo là a. Từ định luật 3 Kepler, ta có: $\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM_t} \Rightarrow M_t = \frac{4\pi^2 a^3}{GT^2}$. Đường kính Mặt Trời bằng $\alpha.a$. Vậy thể tích Mặt Trời là: $V_t = \frac{4}{3}\pi\left(\frac{\alpha.a}{2}\right)^3$. Tỷ số mật độ Trái Đất và mật độ Mặt Trời là:

$$\frac{D_đ}{D_t} = \frac{M_đ}{V_đ} : \frac{M_t}{V_t} = \frac{g.\alpha^3 T^2}{32\pi^2 R_đ} \approx 4,4 .$$

2.15. Tọa độ chân trời của Mặt Trời lúc giữa trưa ở vĩ tuyến 17 vào các ngày:

– Xuân phân:	h = 73°,	A = 0
– Hạ chí:	h = 83°33',	A = 180°
– Thu phân:	h = 73°,	A = 0
– Đông chí:	h = 49°33',	A = 0

2.16. Để giải bài tập này, ta có thể dùng quả cầu sao (mô hình thiên cầu có vẽ các chòm sao), đặt trục quay của thiên cầu làm với mặt phẳng chân trời khoảng 50° (vĩ độ trung bình của nước Nga). Quay thiên cầu cho chòm sao Đại Hùng nằm ở gần thiên đỉnh, sao Actua (sao α chòm Mục phu) đã khá cao. Kim tinh còn ở phía đông mà Kim tinh chỉ cách Mặt Trời không quá 48°, do đó xác định vị trí Mặt Trời trên hoàng đạo, lúc ấy Mặt Trời đã vào chòm Kim Ngưu, nghĩa là đã vào cuối tháng 4 dương lịch (sang tháng năm khoảng 3 tuần đầu, Mặt Trời vẫn còn ở trong chòm Kim Ngưu).

2.17. "Trời hiện dần lên những chấm sao" có nghĩa là Mặt Trời mới lặn. "Tìm mũ Thần Nông chẳng thấy đâu. Thấy con vịt lội giữa

dòng sâu" chứng tỏ lúc ấy Mặt Trời ở chòm Thần Nông. Sao Hôm còn chưa lặn, mà Sao Hôm không ở xa Mặt Trời cũng chỉ nói lên rằng Mặt Trời mới lặn. Vậy tứ thơ bài này được ra đời từ tháng 11. Bài thơ có thể được làm hoàn chỉnh sau đó một thời gian.

2.18. Khối tâm chung của hệ Trái Đất – Mặt Trăng chuyển động quanh Mặt Trời theo quỹ đạo elip gần tròn. Khối lượng Trái đất gấp trên 81 lần khối lượng Mặt Trăng. Vậy bán trục lớn quỹ đạo Mặt Trăng quanh khối tâm chung lớn hơn bán trục lớn quỹ đạo tâm Trái Đất quanh khối tâm chung trên 81 lần. Do đó, quỹ đạo Mặt Trăng trong hệ nhật tâm là đường lượn sóng gần giống đường hình sin.

2.19. Số ngày trong 19 năm dương lịch cũng bằng số ngày trong 19 năm trong âm dương lịch mà nhân dân ta quen gọi là âm lịch (6939 ngày). Ngày mất của Chủ tịch Hồ Chí Minh là 2/9/1969, tức là ngày 21/7 năm Kỷ Dậu. Vậy cứ sau 19 năm có sự trùng lặp này. Các ngày 2/9 của các năm 1988, 2007, 2026, 2045... đều là ngày 21/7 âm lịch của các năm ấy.

2.20. Trong một năm số lần nhật thực nhiều hơn số lần nguyệt thực. Tuy nhiên, nhật thực toàn phần chỉ được nhìn thấy trên một giải hẹp, bề ngang trên dưới 10km và xảy ra trong thời gian vài phút. Nguyệt thực toàn phần xảy ra kéo dài hàng giờ và trên một nửa địa cầu nhìn thấy đồng thời. Vì vậy, số người nhìn thấy nguyệt thực toàn phần lớn hơn rất nhiều so với số người nhìn thấy nhật thực toàn phần.

2.21. Biểu thức gia tốc thủy triều do Mặt Trăng là : $\Delta g_t = \dfrac{2GRM_t}{r_t^3}$, trong đó G là hằng số hấp dẫn, R là bán kính Trái Đất, M_t và r_t là khối lượng và khoảng cách đến Mặt Trăng. Đối với Mặt Trời thì: $\Delta g_0 = \dfrac{2GRM_0}{r_0^3}$, trong đó M_0 là khối lượng Mặt Trời, r_0 là khoảng cách tới Mặt Trời.

$$\frac{\Delta g_t}{\Delta g_o} = \frac{M_t}{M_o}\left(\frac{r_o}{r_t}\right)^3 \approx 2,2.$$

Chương III. CÁC HÀNH TINH VÀ CÁC THÀNH VIÊN KHÁC CỦA HỆ MẶT TRỜI

3.1. Khoảng cách giữa các hành tinh: 0,4; 0,7; 1; 1,5; 5,2. Độ sáng tỷ lệ bình phương khoảng cách nên: 6,25; 2,04; 1; 0,44; 0,037.

3.2. Nhiệt độ bề mặt Hỏa tinh là:

$$T = \sqrt[4]{(1-A)}\sqrt{\frac{R_\odot}{a}}T_0 = 5.800\sqrt[4]{0,84}\sqrt{\frac{6,96.10^{-8}}{2,28.10^{11}}} = 304K.$$

$$V_{CO_2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3.1,38.10^{-23}.302}{7,3.10^{-26}}} = 412m/s.$$

$$V_{II} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2.2,67.10^{11}.4.3,14.3,392.10^{12}.3,9.10^3}{3}} = 9280m/s.$$

Vì $V < V_{II}$ nên trên Hỏa tinh có khả năng tồn tại CO_2 nhưng có thể do lớp đó quá mỏng nên phần đóng góp của khí nhà kính này không đáng kể.

3.3. Điều kiện để hành tinh (vệ tinh) có khí quyển là: $\sqrt{\frac{3kT}{m}} \le 0,2\sqrt{\frac{2GM}{R}}$

M là khối lượng, T là nhiệt độ, m là khối lượng của phân tử khí ta xét, k là hằng số Boltzmann: $k = 1,38.10^{-32}J/K$, G là hằng số hấp dẫn.

3.4. Tính vận tốc chuyển động nhiệt trung bình của nguyên tử hyđrô và phân tử nước tương tự như bài 3.3. Từ đó so sánh với vận tốc thoát để biết điều kiện có khí quyển.

3.5. Ta xét phần tử vật chất thuộc bề mặt Mặt Trăng. Gia tốc thủy triều do Trái Đất gây nên trên Mặt Trăng có dạng: $a_D = 2\frac{GM_D r_T}{d^3}$.

Gia tốc hấp dẫn do Mặt Trăng gây ra cho phân tử đó có dạng $a_T = \frac{Gm_T}{r_T^2}$. Nếu $2\frac{GM_D r_T}{d^3} \ge \frac{Gm_T}{r_T^2}$ thì Mặt Trăng bị xé nhỏ bởi lực thủy triều từ phía Trái Đất. Thay $M_D = \frac{4}{3}\pi R_D^3\rho_D$ và $m_T = \frac{4}{3}\pi r_T^3\rho_T$

ta có: $\frac{2R_D^3\rho_D}{d^3} \ge \rho_T \Rightarrow d \le R_D\left(\frac{2\rho_D}{\rho_T}\right)^{\frac{1}{3}} = 6,378.10^8\left(\frac{5,52.2}{3,34}\right)^{\frac{1}{3}}(m)$.

Do Mặt Trời cùng hút Trái Đất và Mặt Trăng những lực tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách nên Mặt Trăng chuyển động tiến về Mặt Trời với gia tốc khác với Trái Đất một lượng:

$$a = \frac{GM_0}{(D-d)^2} - \frac{GM_0}{D^2} \approx 2\frac{GM_0 d}{D^3}$$

Gia tốc của Mặt Trăng do hấp dẫn của Trái Đất là: $a_1 = \frac{GM_D}{-d^2}$.

Nếu $a \ge a_1$ thì Mặt Trăng sẽ rời Trái Đất đi về phía Mặt Trời. Khi

đó: $2GM_o \frac{d}{D^3} > \frac{GM_D}{d^2} \rightarrow d \geq \left(\frac{M_D}{d^2}\right)^{\frac{1}{3}}.1,496.10^{11} = 1,15.10^9 m$. Do giá trị của d = $1,15.10^9$km lớn hơn nhiều giá trị hiện nay, nên hệ Mặt Trời – Trái Đất – Mặt Trăng là một hệ đang rất bền vững.

3.6. Kim tinh, Hỏa tinh, Thổ tinh, Hải tinh (vì góc nghiêng giữa hoàng đạo và xích đạo < 90°) ?

3.7. Trên Mộc tinh, hoàng đạo gần như trùng với xích đạo nên không có hiện tượng phân biệt các mùa trong năm. Tùy theo vĩ độ có thể chia ra các đới khí hậu.

3.8. Các hành tinh khác nhau thì V_{II} của chúng không giống nhau, mà vận tốc đều phụ thuộc vào khối lượng khí.

3.9. Gia tốc triều của Thủy tinh: $a_1 = \frac{2GM_tR}{r_t^3}$ và của Kim tinh: $a_2 = \frac{2GM_kR}{r_k^3}$. Cả hai gia tốc này đều nhỏ hơn gia tốc triều do Mặt Trăng gây ra.

3.10. b già nhất, sau đó đến c. a và d trẻ hơn. Không đủ thông tin để lựa chọn a hay d trẻ hơn.

3.11. $x\rho_1 + y\rho_2 = \rho(x+y)$, $x(\rho_1 - \rho) = y(\rho - \rho_2)$, $\frac{x}{y} = \frac{1}{1,34} = 0,75$

$\frac{x}{y} = \frac{75}{174} \approx 43\% \Rightarrow \frac{y}{x+y} = \frac{100}{175} \approx 57\%$.

3.12. Khối lượng $1,6.10^{13}$kg, năng lượng 3.10^{21}J, tương đương hàng ngàn quả bom lớn nhất.

3.13. Sử dụng công thức $T^2 = a^3$ để tính a: a = 17,92 dvtv. Tính $r_c = a(1 - e)$ và $r_v = a(1 + e)$, $r_c/r_v = 0,591$dvtv. Sử dụng tích phân diện tích $r_cv_c = r_vv_v$ ta tính được v_c và v_v, sau đó tính động năng ở cận điểm và ở viễn điểm. $\left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2 = 3553$.

3.14. Khoảng 9cm và 85cm.

3.15. Bề rộng của dòng sao băng không bé hơn đoạn đường mà Trái Đất đi được trong khoảng thời gian ấy, nghĩa là d = v.t = 30km/s.37 ngày = 9,6.107 km, ở đây v là vận tốc Trái Đất trên quỹ đạo, t là khoảng thời gian mà dòng sao băng bay.

3.16. Xét 1g thiên thạch có động năng $mv^2/2 = 18.10^5$J. Tỷ số phần năng lượng dùng để hóa hơi so với động năng toàn phần là $10^2/18.10^5 = 1/18.000$.

Chương IV. SỰ HÌNH THÀNH HỆ MẶT TRỜI

4.1. Phương trình chuyển động là $\frac{d^2r}{dt^2} = \frac{GM}{r^2}$, trong đó r(t) là bán kính của đám mây và vế phải là lực hấp dẫn ở bề mặt. Từ phương trình này, chúng ta thấy rằng G có thứ nguyên (khoảng cách)^3/khối lượng/(thời gian)^2. GM/r^3 chỉ liên quan đến thứ nguyên của thời gian, cụ thể là 1/(thời gian)^2. Nếu chỉ một tham số có thể được sử dụng, thì $G\rho$ là đại lượng thích hợp, với thứ nguyên 1/(thời gian)^2. Bởi vậy $(G\rho)^{-1/2}$ có đơn vị của thời gian. Chúng ta ước tính, thời gian suy sụp bằng $(G\rho)^{-1/2} = 4.10^4$ năm. Xét về mặt toán học, đây là một sự ước tính khá tốt so với kết quả chính xác, nhưng xét về mặt vật lý thì đây là một sự ước tính không chắc chắn. Chúng ta không biết bán kính và mật độ ban đầu của sự suy sụp, chúng ta không biết rằng lực hấp dẫn khá trội hơn một sự đẩy từ một vụ nổ sao siêu mới ở gần và chúng ta không biết các hiệu ứng của sự quay các dòng điện và từ trường.

4.2. Các đồng vị ^{13}C và ^{12}C có khối lượng khác nhau, do đó với T xác định thì $V = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ sẽ diễn ra với tốc độ khác nhau dẫn đến mức độ khuếch tán, bay hơi... sẽ khác nhau.

4.3. Ta xem ban đầu Trái Đất chưa có Ar, do đó có thể xem n(o) của - K40 là 8 phần thì n(t) nay là một phần. Do vậy:

$$\frac{n(t)}{n(o)} = e^{-\frac{0,693}{T}.t} = \frac{1}{8} \Rightarrow 0,693.\frac{t}{T} = \ln 8 \Rightarrow t = 3T_{1/2} = 4.10^9 \text{ năm.}$$

4.4. Biết khoảng cách từ Mặt Trời đến tâm thiên hà, ta tính được quảng đường một vòng quay tương ứng với thời gian 1 chu kỳ (1 vòng). Biết thời gian từ khi Hệ Mặt Trời hình thành đến nay ta tính được số vòng quay.

Chương V. THÔNG TIN, THIẾT BỊ THU NHẬN VÀ PHÂN TÍCH THÔNG TIN TỪ VŨ TRỤ

5.1. Sử dụng công thức $f = \frac{c}{\lambda}$; $\varepsilon = hf$.

5.2. Thay $h = 6,625.10^{-34}$J.s = $6,625/1,6.10^{15}$ (eV.s).

$c = 3.10^8$m/s = 3.10^{18}A/s vào tính hc.

Công thức tính bước sóng photon điện từ theo năng lượng

$$\lambda\ (\text{Å}) = \frac{12400}{\varepsilon(\text{eV})}$$

Áp dụng: $\lambda_{max} = \lambda_{32} = 6561\text{Å}$.

$\lambda_{min} = \lambda_{\infty 2} = 912\text{Å}$

5.3. Ngày sao ngắn hơn ngày Mặt Trời trung bình là 4 min nên các sao trên bầu trời ngay hôm sau mọc sớm hơn ngày trước đó là 4 min.

5.4. $\lambda = \frac{c}{f} \Rightarrow d\lambda = -\frac{c}{f^2}df$ và chú ý $B_\lambda d\lambda = -B(f)df$.

5.5. Đặt $e^{\frac{hc}{\lambda kT}} = e^x \Rightarrow dx = \frac{hc}{kT}.\frac{d\lambda}{\lambda^2}$.

5.6. Đặt $A = 2hc^2$, $A_1 = \frac{hc}{k}$ tìm nghiệm của $\frac{dB_\lambda}{d\lambda} = 0$ ta đi đến phương trình $\beta = 5(1 - e^{-\beta})$ với $\beta = A_1/\lambda T$. Phương trình (A) có nghiệm $\beta = 4{,}9651 \Rightarrow \lambda_{max}.T = 4{,}9651A = \text{const}$.

5.7. a) 596,2W; 9500Å

b) 94,74J.

5.8. $Z = \Delta\lambda/\lambda = 4{,}93$.

$$Z = \sqrt{\frac{1 + \frac{V_r}{c}}{1 - \frac{V_r}{c}}} - 1 \Rightarrow V_r \sim 0{,}945C.$$

5.9. Viết biểu thức mô tả định luật bảo toàn năng lượng toàn phần và bảo toàn động lượng của hệ (photon + electron) trong quá trình va chạm và coi chuyển động của electron sau va chạm tuân theo cơ học tương đối tính.

$$E^2 = E_0^2 + (cp)^2$$

5.10. $l = f\tan\alpha \approx fa(\text{rad}) \approx 5{,}624.10^{-5}\text{m}$.

5.11. $e'' \approx 2.5.10^5\lambda/D \approx 0{,}013''$.

5.12. $e'' \approx 175'' \approx 2{,}92'$.

5.13. $e'' \approx 27{,}5''$ thực tế mắt người là quang hệ không hoàn hảo nên chỉ đạt năng suất phân ly thực là $e \leq 3' = 180''$.

5.14. $1{,}10.10^{-13}$W.

5.15. Vì $\theta = 2i - \alpha$; $r_1 = r_2 = \frac{\alpha}{2}$; $\sin i = n\sin\frac{\alpha}{2}$ nên $\sin\frac{\theta}{2} = \sin\frac{\alpha}{2}\left(n\cos\frac{\alpha}{2} - \cos i\right)$.

Chú ý $n = n_0 + \frac{B}{\lambda - \lambda_0}$. Sau khi tính các vi phân cần thiết ta được công thức cần tìm.

5.16. a) Hiệu quang trình [$\Delta = (a + b)(\sin\varphi - \sin\theta)$ (1)

Cực đại tại vị trí có $\Delta = m\lambda$ (2)] với m nguyên.

Từ (1) và (2) suy ra: [$\sin\varphi - \sin\theta = \dfrac{m\lambda}{a+b}$ (3)

Từ (3) tính d_θ/d_λ và chú ý $\cos\theta = (1 - \sin\theta)^{1/2}$ ta được biểu thức cần tìm.

b) Khi $\varphi \to 0$ tức chiếu thẳng góc vào cách tử $\varphi \to 0$ nên $\theta \to 0$ tức $\sin\theta \approx \theta$ (rad); do đó $\theta \approx \dfrac{m\lambda}{a+b} \Rightarrow \left|\dfrac{d\theta}{d\lambda}\right| = \dfrac{m}{a+b}$

5.17.
$$\Delta\lambda = \frac{|e|\lambda^2}{4\pi m_e c}B = 6{,}83.10^{-11}\,m.$$

$$|\Delta f| = \frac{c}{\lambda^2}\Delta\lambda = 4{,}76.10^{10}\,Hz.$$

Chương VI. MẶT TRỜI – NGÔI SAO GẦN TA NHẤT

6.2. Đo thị sai địa tâm, góc Mặt Trời nhìn bán kính Trái Đất, nhưng do Mặt Trời chói chang khó đo, nên người ta đo thông qua đo thị sai Hỏa Tinh lúc nó xung đối lớn hơn đối với Mặt Trời qua Trái Đất. Khi đó ta được $\Delta = \dfrac{R_t}{p_0} = 1$ đ.v.t.v.

6.3. Tại vùng trên cùng của quang cầu và vùng dưới cùng của sắc cầu.

6.4.
$$V_{\text{â}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \approx 5{,}8.10^3\,m/s \Rightarrow V_{\text{â}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \approx 5{,}8.10\,m/s$$

$$V_{\text{â tri}} = \frac{B}{\sqrt{4\pi\rho}} \approx 0{,}35.10^{-2}\,m/s.$$

Như vậy tại nơi có B lớn sóng âm từ mới có vai trò đáng kể để chuyển tải năng lượng từ trong lòng Mặt Trời ra ngoài.

6.5.

a) $L_0 = 4\pi d^2 F \approx 3{,}8.10^{26}W$.

b) $T_0 = 5777K$

c) $\lambda_{max} = 5020Å$

d) $\dfrac{dm}{dt} = \dfrac{1}{c^2}.\dfrac{dE}{dt} = \dfrac{L_0}{c^2} \approx 4{,}2.10^3\,kg/s$.

6.6.
$$E_0 \approx \frac{1}{2}m_p\overline{v}^2.n_p \Rightarrow F_0 = \overline{v}E_0.$$

6.7. a) $\overline{T_{\text{vết}}} = \overline{T_0}\sqrt[4]{3/5} = 5300K$.

b) Điều kiện nhìn rõ $\bar{d} \geq 2'$ ở đây $d_{vết} = 2,3'$ nên mắt có thể nhìn thấy vết đen.

6.8. $R = 3.6R_0 \approx 2,51.10^6$km.

6.9. Không thấy vì vết đen không bức xạ ở vùng tia Röntgen.

Chương VII. SAO VÀ NHỮNG ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN

7.1. 10.32 nas; 93% giá trị đo được hiện nay.

7.2. 100 ps ≈ 12,5% khoảng cách đến tâm thiên hà, nên phương pháp này chỉ đo được khoảng cách đến các sao ở gần chúng ta.

7.3. $M = m + 5 - 5\lg d(ps) = +0,525$

$M - m = 0,521.$

7.4. a) $d = 150$ ps.

b) $M_0 = 4,76$; $L_x/L_0 = 10^4$ lần.

7.5. $L_x = 4\pi d^2 a = 5,35.10^{30}$ W.

$\varepsilon_x = L_x/4\pi R_x^2 = \sigma T^4.$

7.6. $L \approx 4.10^{26}$W.

7.7. $M_1 + M_2 = 3,1\ M_0$; $M_1 = 1,0M_0$; $M_2 = 2,1M_0$.

7.9. $R_x = 6,933R_0$.

Chương VIII. SỰ TIẾN HOÁ CỦA CÁC SAO

8.4. a) $\Delta E \sim G\mu_0^2/R = 1,8.10^{41}$J.

b) $\tau \sim \Delta E/L_0 = 1,5.10^7$ năm.

8.5. $$2E_d = \langle E_t \rangle \Rightarrow R_w = \left(\frac{18\pi}{10}\right)^{2/3} \cdot \frac{tr^2}{GM_e M_{wd}^{1/3}} \cdot \left[(Z/A) \cdot \frac{1}{m_H}\right]^{5/3}$$

R_w được gọi là giới hạn chandrasekhar.

Chương IX. THIÊN HÀ CỦA CHÚNG TA – NGÂN HÀ

9.1. Bộ phận chính của Thiên Hà: Đĩa Thiên Hà, vùng lồi trung tâm hình phỏng cầu, quần quan sát ở các bước sóng hồng ngoại và vô tuyến, vì các sóng này không bị bụi cản trở.

9.2. Kính quang học cho thấy những thiên hà hình xoắn ốc, các sao chuyển động nhất là hiện tượng dịch chuyển về phía đỏ của sóng vô tuyến có r = 21cm do hidrô có mặt ở khắp mọi nơi trong vũ trụ. Biết vận tốc của Mặt Trời và khoảng cách đến tâm thiên hà sẽ

tính được chu kỳ quay, mà Mặt Trời đã được hình thành 4,6 tỉ năm về trước vậy đã quay được khoảng 20 vòng.

9.3. Ở điều kiện vật lý bình thường, một thể tích 22,4*l* không khí chứa khoảng 6.10^{23} phân tử (Số Avogađr). Vậy $1m^3$ không khí chứa khoảng 3.10^{25} phân tử (chủ yếu là O_2 và N_2), giá trị này ~ 10^{18} lần mật độ trung bình của môi trường giữa các sao.

9.4. Chuyển động riêng của các sao Chức Nữ là:

$$0,35/\text{năm} = \frac{1\text{radx}0,35''}{206265''} = 1,696.10^{-6}\text{rad/năm}.$$

Vậy sao này đã dịch chuyển theo phương vuông góc với tia nhìn một khoảng $d_n = 1,696.10^{-6}.26\text{nas}.9,46.10^{12}\text{km/nas} = 417\ 356\ 000\text{km/năm}$.

Vậy vận tốc ngang bằng $v_n = \frac{417456000\text{km}}{365.24.3600\text{s}} = 13,2\text{km/s}$. Vận tốc chuyển động của sao Chức Nữ là: $v = \sqrt{V_n^2 + V_t^2}$, $v_t = 14\text{km/s}$ vậy $v = 19,2\text{km/s}$.

9.5. Giả sử vỏ bao quang sao có dạng cầu, luồng vật chất mất mát trong một đơn vị thời gian ở khoảng cách r kể từ tâm của ngôi sao là $M' = 4\pi r^2 v_{rH_2} m_{H_2}$. Tốc độ mất mát khối lượng sau mỗi năm $M' = 0,007M_o$/năm.

Chương X. CÁC THIÊN HÀ VÀ QUASAR

10.1. a) $\cos i = \frac{\beta}{\alpha} = 0,5 \Rightarrow i = 60°$.

b) Từ đồ thị hình 2 của công suất bức xạ.

– Trục hoành biểu thị các ngày thứ 1, 10, 100 ứng với logT = 0, 1, 2.

– Trục tung biểu thị công suất bức xạ từ $1,0.10^{29}$(W) đến $1.0.10^{31}$(W) tương ứng với log biến thiên từ 28 đến 31.

Với logT = 1,6 thì dựa vào đồ thị :

$$\log W = 30,5 \Rightarrow W = 3,2.10^{30}(W)$$

Gọi D là khoảng cách tới thiên hà, d là đường kính của kính thiên văn, W' là công suất mà kính thiên văn thu được.

$$W' = \frac{v}{4\pi D^2}.\frac{\pi.d^2}{4} \Rightarrow D = \frac{d}{4}\sqrt{\frac{W}{W'}}$$

$$D = 5,3.10^{22}m = 3,5.10^{11}\text{ đvtv}.$$

c) Theo hiệu ứng Doppler: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Rightarrow v = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$

$$\Delta\lambda_1 = 1{,}39\text{nm} \Rightarrow v_1 = 7{,}1.10^2\text{km/s}.$$

$$\Delta\lambda_2 = 0{,}66\text{nm} \Rightarrow v_2 = 3{,}3.10^2\text{km/s}.$$

vận tốc trung bình của thiên hà đang đi ra xa:

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) = 5{,}2.10^2\text{km/s}.$$

Vậy vận tốc quay quanh tâm thiên hà của các sao biến quang theo phương tia nhìn bằng $v_t = 1{,}9.10^2$km/s. Vậy vận tốc thực là $v = \frac{v_t}{\cos 30^o} = 2{,}2.10^2$km/s. Các sao biến quang cách tâm thiên hà một khoảng là:

$r = \frac{\alpha D}{2}$ với α tính bằng radian, $\frac{\alpha}{2} = 11' = 3{,}2.10^{-3}$rad.

$$r \approx 1{,}69.10^{20}\text{m} \approx 1{,}1.10^9 \text{ đvtv}$$

d) Lực hấp dẫn đóng vai trò lực hướng tâm, vậy:

$$G\frac{M.m}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow M = \frac{rv^2}{G}$$

Tương tự dịch chuyển của Trái Đất quanh Mặt Trời:

$$M_\odot = \frac{av_T^2}{G} \quad N = \frac{M}{M_\odot} = \frac{r}{a}\left(\frac{v}{vT}\right)^2 = 5{,}9.10^{10}$$

10.2. Tính vận tốc thoát $v_{thoát} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \approx 130$km/s và kết luận rằng thiên hà lùn là vệ tinh quay xung quanh thiên hà khổng lồ.

10.3. Các quasar là những thiên thể có mật độ vật chất rất lớn. Sự biến đổi ngắn độ trưng của chúng nói lên rằng ánh sáng chỉ cần một ngày để từ phía sau tới phía trước của quasar. Khoảng cách ánh sáng truyền đi trong một ngày tương ứng với kích thước của quasar: 170 dvtv (170 lần khoảng cách từ Trái Đất đến Mặt Trời).

10.4. Bán kính vành Einstein: $r = 1{,}2.10^9$km (chưa đến 0",001).

10.5. a) Để tìm khoảng cách, cần biết vận tốc lùi xa để áp dụng định luật Hubble.

Theo hiệu ứng Doppler: $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c} \Rightarrow v = c\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$.

$v = 3.10^5 km/s.0,16 = 4,8.10^4$ km/s.

Quasar 3c273 ở cách xa:

$d = \frac{v}{H} = 740$ Mps $= 2,2.10^{25}$km (lấy H = 65 km/s Mps).

b) Vệt sáng có kích thước dài: $\frac{15".2,2.10^{25}km}{206265"} \approx 1,6.10^{24}$km.

c) Cấp sao tuyệt đối của Mặt Trời là +5. Vậy vành sáng quanh quasar sáng gấp 10^{12} lần.

Chương XI. VŨ TRỤ HỌC

11.1. Trường hợp a) v = 47400km/s; d = 730Mpc ≈ 2380 triệu nas.

Trường hợp b) v = 0,946c; d = 4366Mps ≈ 14242 triệu nas.

c) Đối với các quasar ở rất xa được sử dụng để chứng minh trong quá khứ vũ trụ có nhiều quasar hơn. Đặc biệt năng lượng bức xạ của quasar rất lớn nên tuy ở rất xa nhưng trên đường đi tới Trái Đất có thể đi qua những đối tượng có khối lượng lớn, các đối tượng này đóng vai trò thấu kính hấp dẫn, nhờ đó biết được cấu trúc các miền của vũ trụ trên phương đi tới quasar.

11.2. a) 2,63K.

b) 2,90nm.

11.3. Áp dụng công thức $R = \frac{2GM}{C^2} = 14,8$km.

11.4. Không xác định được.

11.5. Mô hình Big–Bang được chấp nhận dựa trên hai sự kiện thực nghiệm quan sát được là:

– Phát hiện của Hubble cho thấy các thiên hà chạy ra xa, mà thiên hà càng xa chuyển động cành nhanh.

– Bức xạ viba nền tàn dư từ mọi hướng của vũ trụ.

11.6. Động năng bằng $mv^2/2$; thế năng bằng $m(3/4)\pi R^3\rho G/R$, m là khối lượng của lớp vỏ. Ở trạng thái cân bằng: $v^2/R^2 = 8\pi G\rho/3$ (với H = v/R); Do đó $\rho = 8.10^{-27}kg/m^3$. Vì vũ trụ phẳng là ranh giới giữa vũ trụ mở và vũ trụ đóng nên giá trị này của mật độ là mật độ tới hạn để vũ trụ đóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phạm Viết Trinh, Nguyễn Đình Noãn; *Giáo trình thiên văn*; NXB Giáo dục; H 1980.
2. Donat G.Wentzel, Nguyễn Quang Riệu, Phạm Viết Trinh, Nguyễn Đình Noãn, Nguyễn Đình Huân; *Thiên văn vật lý*; NXB Giáo dục; H 2000.
3. Nguyễn Đình Noãn; *Bài tập và thực hành thiên văn học*; NXB Giáo Dục; H 1987.
4. Phạm Viết Trinh, Phan Văn Đồng, Lê Phước Lộc; *Bài tập thiên văn;* NXB Giáo Dục; H 2005
5. P.I. Bakulin *Giáo trình thiên văn đại cương* (tiếng Nga); Matxcowva 1970.
6. Jay M. Pasachoff Astronomy from the Earth to the Universe Focuth edition 1995.
7. Theodore P.Snow. Essentials of The Dynamic Univers Second edition west publishing company.
8. Zeilik Gregory Smith. Introductory Astronomy. Astrophysics third edition 1992.
9. William K.Hartmann.Moon&planets. Third edition Wadsworth Publishing Company.A Division of Wadsworth, Inc. Belmont, California.
10. T. Encrenaz, J.–P. Bibring. The Solar System. Springer.
11. S.I Xelesnikov *Thiên văn và du hành vũ trụ. Biên niên từ thời cổ đến hiện nay*. Kiev 1967.
12. D. Halliday R.Resnick J.Walker *Cơ sở vật lý* T.6; NXB Giáo dục; H 2002.
13. *Từ điển bách khoa nhà thiên văn trẻ* (tiếng Nga) Matxcova 1985.
14. P.G. Kulikovki; *Sổ tay thiên văn* (tiếng Nga) Matxcova 1971.
15. Trịnh Xuân Thuận; *Giai điệu bí ẩn và con người đã tạo ra vũ trụ*; NXB Khoa học và kỹ thuật; H 2000.
16. S. Hawking; *Lịch sử thời gian từ vụ nổ lớn đến lỗ đen*; NXB Văn hoá thông tin; H 2000.
17. Robert T.Dixon Dynamic Astronomy. Sixth edition 1992 by Prentic Hall.
18. A. A. Mikhailov và nhóm tác giả; *Giáo trình thiên văn vật lí và thiên văn sao* (tiếng Nga); Matxcova 1993.
19. S.B. Pickelner *Vật lí vũ trụ* (tiếng Nga) NXB Bách khoa Xô Viết 1976.
20. Jay M. Pasachoff. Journey through the Universe. Saunders college Publishing.
21. C. R. Kitchin. Telescops and techniques series edited by patrick Moore 1995.
22. M. Zeilik. Conceptual Astronomy. Copyright 1992 Kathbert R.Gegan.
23. An introduction to Modern Stellar Astrophysies Weber State University 1996.
24. William K. Hartmann. Moon & planets. Third edition. Wadsworth Publishing Company. A Division of Wadsworth, Inc. Belmont, California.

MỤC LỤC

Lời nói đầu 3
PHẦN MỞ ĐẦU 5
I. Đối tượng và nội dung 5
II. Phương pháp nghiên cứu 5
III. Ý nghĩa và vai trò của Thiên văn học 6

PHẦN THỨ NHẤT. HỆ MẶT TRỜI

Chương I. **Động lực học Hệ Mặt Trời** 8
I. Hệ Mặt Trời trong vũ trụ 8
II. Các mô hình về Hệ Mặt Trời 8
III. Quy luật chuyển động của các hành tinh trong Hệ Mặt Trời 11
IV. Xác định khoảng cách, độ lớn và khối lượng của các thiên thể trong Hệ Mặt Trời 15
V. Chuyển động không nhiễu loạn. Bài toán hai vật thể 18
VI. Bài toán n vật thể. Chuyển động nhiễu loạn 32
VII. Cơ học thiên thể và kỷ nguyên khám phá Vũ trụ 34
Bài tập chương I 37

Chương II. **Hệ Trái Đất – Mặt trăng** 39
I. Từ Trái Đất quan sát bầu trời 39
II. Hình dạng, kích thước và cấu trúc của Trái Đất 48
III. Chuyển động tự quay của Trái Đất 56
IV. Các thang thời gian 60
V. Chuyển động của Trái Đất quanh Mặt Trời và các hệ quả 64
VI. Mặt Trăng là vệ tinh tự nhiên của Trái Đất 69
Bài tập chương hai 76

Chương III. **Các hành tinh và các thành viên khác của Hệ Mặt Trời** 79
I. Các hành tinh trong Hệ Mặt Trời 79
II. Nhóm các hành tinh bé phía trong 86
III. Nhóm các hành tinh lớn vòng ngoài 91
IV. Các vệ tinh, các vành đai của các hành tinh trong Hệ Mặt Trời 95
V. Tiểu hành tinh 97
VI. Sao chổi 98
VII. Sao băng, thiên thạch 100
Bài tập chương III 102

Chương IV. **Sự hình thành hệ Mặt Trời** 106
I. Lịch sử phát triển các mô hình về Hệ Mặt Trời 106
II. Giả thuyết về động lực học 107
III. Giả thuyết về hoá học 108
IV. Giả thuyết về sự bồi đắp 109

V. Xác định tuổi của hành tinh 111
VI. Quá trình tiến hoá của Hệ Mặt Trời 112
Bài tập chương IV 116

PHẦN THỨ HAI. VẬT LÝ MẶT TRỜI VÀ CÁC SAO TRONG THIÊN HÀ CỦA CHÚNG TA

Chương V. **Thông tin, Thiết bị thu nhận và phân tích thông tin từ vũ trụ** 118
I. Thông tin được sử dụng trong thiên văn vật lý 118
II. Thiết bị ghi nhận thông tin đến từ vũ trụ. Kính thiên văn 135
III. Thiết bị ghi nhận bức xạ vũ trụ 142
IV. Thiết bị phân tích bức xạ 149
V. Những thiết bị bổ trợ và những lưu ý khi nghiên cứu thiên văn vật lý 153
Bài tập chương V 155

Chương VI. **Mặt Trời – Ngôi sao gần ta nhất** 159
I. Mặt Trời – ngôi sao ổn định thuộc nhóm G2V 159
II. Sự hoạt động của Mặt Trời 177
Bài tập chương VI 192

Chương VII. **Sao và những đặc trưng cơ bản** 194
I. Những đặc trưng cơ bản của sao và phương pháp xác định 194
II. Sao biến quang 213
Bài tập chương VII 220

Chương VIII. **Sự tiến hoá của các sao** 222
I. Các giai đoạn chính trong quá trình tiến hoá của sao 222
II. Về sự phát hiện và các đặc tính vật lý của các tàn dư suy biến của sao 233
Bài tập chương VIII 246

PHẦN THỨ BA. THIÊN HÀ VÀ VŨ TRỤ

Chương IX. **Thiên Hà của chúng ta – Ngân Hà** 248
I. Hình dạng, kích thước của Thiên Hà – Ngân Hà 248
II. Chuyển động của các sao trong Thiên Hà 251
III. Các tinh vân 253
IV. Tia vũ trụ và từ trường thiên hà 256
V.. Các phân tử giữa các sao và sự sống ở các hành tinh ngoài hệ Mặt Trời 259
Bài tập chương IX 262

Chương X. **Các Thiên Hà và quasar** 263
I. Quan sát các thiên hà qua kính quang học 263
II. Quan sát các thiên hà bằng các sóng vô tuyến điện, hồng ngoại và Röentgen 268
III. Các đặc trưng cơ bản của các thiên hà 271
IV. Định luật Hubble và khoảng cách tới các thiên hà 271
V. Các đám thiên hà và tương tác giữa các thiên hà 274

VI. Các quasar 276
VII. Thấu kính hấp dẫn và ảo ảnh vũ trụ 279
Bài tập chương X 281

Chương XI. **Vũ trụ học** 283
I. Thuyết tương đối hẹp và vũ trụ học Newton 283
II. Vũ trụ học theo thuyết tương đối rộng 286
III. Big – Bang (Vụ nổ lớn) và những vấn đề vũ trụ học hiện đại 294
IV. Tổng quan về vũ trụ học hiện đại 302
Bài tập chương XI 306

Phụ lục I 307
Phụ lục II 308
Phụ lục III 309
Phụ lục IV 311
Phụ lục V 313
Phụ lục VI 315
Phụ lục VII 317
Phụ lục VIII 322
Phụ lục IX 324
Phụ lục X 328
Phụ lục XI 329
Phụ lục XII 330
Phần trả lời các bài tập 332
Tài liệu tham khảo 348
Mục lục 349

Chịu trách nhiệm xuất bản:
Chủ tịch Hội đồng Thành viên kiêm Tổng Giám đốc NGÔ TRẦN ÁI
Tổng biên tập kiêm Phó Tổng Giám đốc NGUYỄN QUÝ THAO

Tổ chức bản thảo và chịu trách nhiệm nội dung:
Phó Tổng biên tập NGÔ ÁNH TUYẾT
Giám đốc Công ty CP Sách ĐH—DN NGÔ THỊ THANH BÌNH

Biên tập lần đầu:
ĐẶNG THANH HẢI

Biên tập tái bản:
NGUYỄN HÀ XUÂN

Trình bày bìa:
ĐINH XUÂN DŨNG

Chế bản:
TRỊNH THỤC KIM DUNG

Công ty CP Sách Đại học – Dạy nghề, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam
giữ quyền công bố tác phẩm.

GIÁO TRÌNH VẬT LÝ THIÊN VĂN

Mã số: 7K751y3-DAI

Số đăng kí KHXB : 54 - 2013/CXB/ 153- 51/GD

In 500 cuốn (QĐ in số : 04), khổ 16 x 24 cm.

In tại Công ty CP in Phú Thọ.

In xong và nộp lưu chiểu tháng 02 năm 2013.